



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ**

**ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

**ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗ ΒΙΟΙΑΤΡΙΚΗ**

**Ανάπτυξη μεθόδου κατανομής καναλιών σε κυψελοειδή  
συστήματα**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΛΙΑΚΟΠΟΥΛΟΥ ΓΕΩΡΓΙΑ**

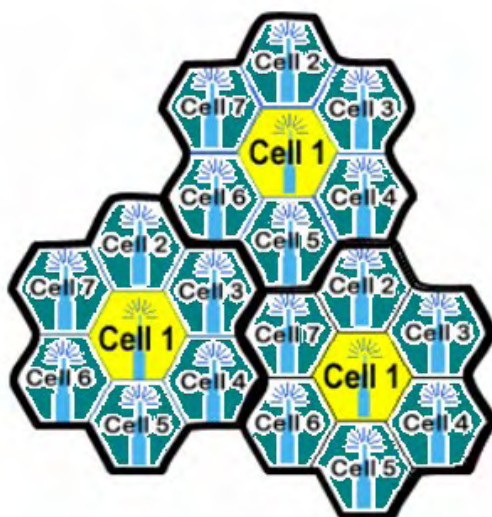
**Επιβλέπων : ΧΑΡΙΛΑΟΣ ΣΑΝΔΑΛΙΔΗΣ**

**Λαμία, Αύγουστος 2011**

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗ

**Ανάπτυξη μεθόδου κατανομής καναλιών σε κυψελοειδή συστήματα**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΛΙΑΚΟΠΟΥΛΟΥ ΓΕΩΡΓΙΑ

Επιβλέπων :ΧΑΡΙΛΑΟΣ ΣΑΝΔΑΛΙΔΗΣ

Λαμία, Αύγουστος 2011

***Η παρούσα πτυχιακή εργασία αφιερώνεται  
στην οικογένειά μου...***

## Περίληψη

Τα κυψελοειδή κινητά συστήματα πρέπει να εξυπηρετούν όσο το δυνατόν μεγαλύτερο αριθμό κλήσεων παρά το γεγονός ότι ο αριθμός των καναλιών ανά κυψέλη είναι περιορισμένος. Το μεγάλο πλεονέκτημα της κυψελοειδούς αρχιτεκτονικής έγκειται στη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης καναλιών. Τα κανάλια που χρησιμοποιούνται σε μια κυψέλη μπορούν να ξαναχρησιμοποιηθούν σε άλλες αυξάνοντας με τον τρόπο αυτόν τη χωρητικότητα του συστήματος. Η διαδικασία κατανομής ή ανάθεσης καναλιών (channel assignment) που καθορίζει ποια κανάλια μπορούν να χρησιμοποιηθούν από μια κυψέλη είναι πολύ σημαντική για τη λειτουργία και αξιοπιστία των κυψελοειδών συστημάτων όσον αφορά στην εξυπηρέτηση των κλήσεων. Στην παρούσα πτυχιακή εργασία γίνεται η αναφορά των κυριότερων μεθόδων κατανομής καναλιών και παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Στη συνέχεια αναπτύσσεται αλγόριθμος της στατικής κατανομής (fixed channel assignment - FCA) και εξετάζεται η απόδοσή του σε κυψελοειδείς αρχιτεκτονικές με ομοιόμορφη κατανομή τηλεπικοινωνιακού φορτίου.

## Λέξεις Κλειδιά

Κυψελοειδή συστήματα, Κυψέλες, Κανάλια, Παρεμβολές, Τηλεπικοινωνιακή κίνηση, Κατανομή καναλιών, Στατική ανάθεση καναλιών, Μονάδα Erlang, Πιθανότητα εμπλοκής κλήσεων.

## **Abstract**

Cellular mobile systems should serve a large number of calls despite the fact that the number of channels per cells is limited. The great advantage of the cellular architecture lies in the possibility of reusing channels. Channels can be used in several cells increasing by that way the cellular capacity. Channel assignment, which determines the channels that can be used in a cell, is very important for the operation and reliability of cellular systems. In the present thesis, the key channel assignment techniques are presented together with their advantages and disadvantages. Moreover, a fixed channel assignment scheme is developed and simulated in cellular architectures with uniform traffic distribution.

## **Key Words**

Cellular systems, Cells, Channels, Interference, Traffic flow, Channel assignment, Fixed channel assignment, Erlang unit, Call blocking probability.

## Πίνακας Περιεχομένων

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....</b>	<b>4</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>5</b>
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ .....</b>	<b>6</b>
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ - ΠΙΝΑΚΩΝ .....</b>	<b>9</b>
<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....</b>	<b>11</b>
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	11
1.2 ΔΟΜΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	12
1.3 ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	13
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΚΥΨΕΛΟΕΙΔΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ .....</b>	<b>14</b>
2.1 ΕΞΕΛΙΞΗ ΚΙΝΗΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ .....	14
2.2 ΚΥΨΕΛΟΕΙΔΗ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	16
2.2.1 Ορισμός κυψελοειδούς συστήματος .....	16
2.2.2 Βασικά χαρακτηριστικά κυψελοειδών συστημάτων .....	17
2.2.3 Δομή κυψελοειδών συστημάτων .....	18
2.3 ΓΕΝΙΕΣ ΚΥΨΕΛΟΕΙΔΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ .....	20
2.3.1 Συστήματα πρώτης γενιάς 1G.....	21
2.3.2 Συστήματα δεύτερης γενιάς 2G.....	21
2.3.3 Συστήματα 2.5G .....	21
2.3.4 Συστήματα τρίτης γενιάς 3G.....	22

2.3.5 Συστήματα τέταρτης γενιάς 4G.....	22
2.4 ΚΥΨΕΛΟΕΙΔΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ-ΚΑΛΥΨΗ.....	22
2.4.1 Τι είναι η κυψελοειδής γεωμετρία.....	22
2.4.2 Η γεωμετρική μορφή της κυψέλης .....	23
2.4.3 Απόσταση δύο σημείων.....	24
2.5 ΤΥΠΟΙ ΚΥΨΕΛΩΝ.....	24
2.6 ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΝΑΛΙΩΝ.....	25
2.7 ΣΥΣΤΑΔΕΣ.....	27
2.8 ΕΙΔΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΩΝ.....	29
2.8.1 Ομοκαναλική παρεμβολή (Co-Channel Interference - CCI) .....	30
2.8.2 Παρεμβολή γειτονικού καναλιού (Adjacent channel Interference).....	31
2.8.3 Ενδοδιαμόρφωση (Intermodulation).....	31
ΑΝΑΦΟΡΕΣ ΣΤΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	32
<b>ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ .....</b>	<b>34</b>
3.1 ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗ ΚΙΝΗΣΗ ΣΤΑ ΚΥΨΕΛΟΕΙΔΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ .....	34
3.2 ΡΟΗ ΤΗΛΕΦΩΝΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ (TRAFFIC FLOW) .....	35
3.3 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΣ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ (TRUNKING AND GRADE OF SERVICE).....	36
3.4 ΩΡΕΣ ΑΙΧΜΗΣ (BUSY HOURS).....	37
3.5 ΜΟΝΑΔΕΣ ΡΟΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ .....	37
3.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ .....	38
3.7 ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ (SPECTRAL EFFICIENCY).....	40
3.7.1 Φασματική Αποδοτικότητα Ζεύξης (Link Spectral Efficiency).....	40
3.7.2 Φασματική Αποδοτικότητα Συστημάτων (System Spectral Efficiency).....	40
ΑΝΑΦΟΡΕΣ ΣΤΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	40
<b>ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΘΕΣΗΣ ΚΑΝΑΛΙΩΝ.....</b>	<b>42</b>
4.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΑΝΑΛΙΩΝ .....	42
4.2 ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΘΕΣΗ ΚΑΝΑΛΙΩΝ (FIXED CHANNEL ASSIGNMENT-FCA) .....	44
4.3 ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΘΕΣΗ ΚΑΝΑΛΙΩΝ (DYNAMIC CHANNEL ASSIGNMENT-DCA) .....	46
4.3.1 Σύγκριση μεταξύ FCA και DCA .....	47
4.4 ΥΒΡΙΔΙΚΗ ΑΝΑΘΕΣΗ ΚΑΝΑΛΙΩΝ (HYBRID CHANNEL ASSIGNMENT-HCA) .....	48

4.5 ΕΥΕΛΙΚΤΗ ΑΝΑΘΕΣΗ ΚΑΝΑΛΙΩΝ (FLEXIBLE CHANNEL ASSIGNMENT-FLCA) .....	49
4.6 ΑΝΑΘΕΣΗ ΔΑΝΕΙΣΜΟΥ ΚΑΝΑΛΙΩΝ (BORROWING CHANNEL ASSIGNMENT-BCA) .....	49
4.7 ΑΝΑΘΕΣΗ ΒΙΑΙΟΥ ΔΑΝΕΙΣΜΟΥ ΚΑΝΑΛΙΩΝ (FORCIBLE BORROWING CHANNEL ASSIGNMENT-FBCA) .....	50
4.8 ΣΤΑΤΙΚΗ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΘΕΣΗ ΚΑΝΑΛΙΩΝ (FIXED AND DYNAMIC CHANNEL ASSIGNMENT).....	50
ΑΝΑΦΟΡΕΣ ΣΤΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	50
<b>ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ.....</b>	<b>52</b>
5.1 ΕΙΔΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ .....	52
5.2 Το ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ MATLAB.....	53
5.3 ΓΕΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ .....	55
5.4 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ .....	55
5.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ .....	60
ΑΝΑΦΟΡΕΣ ΣΤΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	66
<b>ΕΠΙΛΟΓΟΣ .....</b>	<b>67</b>
6.1 ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	67
6.2 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ .....	68
ΑΝΑΦΟΡΕΣ ΣΤΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	69
<b>ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ .....</b>	<b>70</b>
<b>ΓΛΩΣΣΑΡΙ.....</b>	<b>76</b>



## Πίνακας Σχημάτων - Πινάκων

Σχήμα 2.1: Εξέλιξη ασύρματων κυψελοειδών συστημάτων .....	17
Σχήμα 2.2: Γενική δομή κυψελοειδούς συστήματος.....	19
Σχήμα 2.3: Μορφές κυψελών .....	23
Σχήμα 2.4: Σύστημα συντεταγμένων .....	24
Σχήμα 2.5: Κυψελοειδής επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων.....	26
Σχήμα 2.6: Απόσταση επαναχρησιμοποίησης καναλιού D .....	27
Σχήμα 2.7: Γεωμετρικές αποστάσεις.....	28
Σχήμα 2.8: Γεωμετρία εξαγώνου .....	28
Σχήμα 3.1: Πιθανότητα εμπλοκής για σύστημα Erlang B.....	38
Σχήμα 3.2: Πιθανότητα εμπλοκής για σύστημα Erlang C.....	39
Πίνακας 4.1: Κατηγορίες Σχημάτων DCA.....	47
Πίνακας 4.2: Βασικές διαφορές σχημάτων FCA και DCA .....	48
Σχήμα 5.1: Παράθυρο έναρξης της MATLAB .....	54
Πίνακας 5.1: Πιθανότητες εμπλοκής κλήσεων για 25 κυψέλες.....	60
Σχήμα 5.2: Γραφική παράσταση πιθανότητας εμπλοκής κλήσεων για 25 κυψέλες .....	61
Πίνακας 5.2: Πιθανότητες εμπλοκής κλήσεων για 36 κυψέλες.....	61
Σχήμα 5.3: Γραφική παράσταση πιθανότητας εμπλοκής κλήσεων για 36 κυψέλες .....	62

Πίνακας 5.3: Πιθανότητες εμπλοκής κλήσεων για 49 κυψέλες.....	62
Σχήμα 5.4: Γραφική παράσταση πιθανότητας εμπλοκής κλήσεων για 49 κυψέλες .....	63
Πίνακας 5.4: Πιθανότητες εμπλοκής κλήσεων για 64 κυψέλες.....	63
Σχήμα 5.5: Γραφική παράσταση πιθανότητας εμπλοκής κλήσεων για 64 κυψέλες .....	64
Πίνακας 5.5: Συγκεντρωτικός πίνακας πιθανοτήτων εμπλοκής κλήσεων .....	64
Σχήμα 5.6: Συγκεντρωτική γραφική παράσταση πιθανότητας εμπλοκής κλήσεων .....	65

# 1

## Πρόλογος

### 1.1 Εισαγωγή

Η συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία πραγματεύεται το πολύ σημαντικό ζήτημα της διαδικασίας κατανομής καναλιών σε κυψελοειδή κινητά συστήματα. Ως κινητά συστήματα εννοούμε τα τηλεπικοινωνιακά εκείνα συστήματα που εξασφαλίζουν την ασύρματη επικοινωνία μεταξύ δύο ή περισσότερων κινούμενων χρηστών. Τα κυψελοειδή συστήματα που βασίζονται στην κυψελοειδή αρχιτεκτονική αποτελούν υποκατηγορία των κινητών συστημάτων. Τα κυψελοειδή συστήματα ραδιοεπικοινωνιών παρέχουν υπηρεσίες με αρκετά υψηλή ποιότητα και συχνά συγκρίσιμη με εκείνη των ενσύρματων τηλεπικοινωνιακών συστημάτων.

Τα κυψελοειδή συστήματα σχεδιάστηκαν έτσι ώστε να έχουν τη δυνατότητα να εξυπηρετούν υψηλές ποσότητες τηλεπικοινωνιακής κίνησης. Οι κλήσεις δημιουργούνται σε εντελώς τυχαίες χρονικές στιγμές από τους χρήστες και εξαρτώνται αποκλειστικά από τις ιδιαίτερες ανάγκες και συνήθειες τους. Τα συστήματα αυτά είναι απαραίτητο να εξυπηρετούν όσο το δυνατό μεγαλύτερο αριθμό κλήσεων, ανεξάρτητα από το γεγονός ότι ο αριθμός των καναλιών ανά κυψέλη είναι περιορισμένος. Αυτό επιτυγχάνεται σε μεγάλο βαθμό, με τη δυνατότητα της επαναχρησιμοποίησης των διαθέσιμων καναλιών.

Η κατανομή ή ανάθεση καναλιών μπορεί να διατυπωθεί ως ένα συνδυαστικό πρόβλημα βελτιστοποίησης που υπόκειται στην εμφάνιση παρεμβολών και στη ροή της τηλεπικοινωνιακής κίνησης. Οι στρατηγικές κατανομής καναλιών ταξινομούνται σε δύο

μεγάλες κατηγορίες: τη στατική ανάθεση καναλιών (*Fixed Channel Assignment* -FCA), και τη δυναμική ανάθεση καναλιών (*Dynamic Channel Assignment* -DCA), Στη βιβλιογραφία έχουν προταθεί διάφορες επεκτάσεις ή τροποποιήσεις των δύο παραπάνω στρατηγικών, εξασφαλίζοντας έτσι τη βέλτιστη χρησιμοποίηση του διαθέσιμου φάσματος συχνοτήτων. Ωστόσο, η μελέτη της απόδοσης κυψελοειδών αρχιτεκτονικών χρησιμοποιώντας μια από τις δύο παραπάνω βασικές στρατηγικές ανάθεσης είναι σημαντική και αποτελεί κριτήριο αξιολόγησής τους.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία παρουσιάζει, εν πρώτοις, τις βασικές αρχές των κυψελοειδών συστημάτων και τα κυριότερα σχήματα κατανομής καναλιών. Κατόπιν, αναπτύσσεται αλγόριθμος κατανομής καναλιών με βάση την πλέον διαδεδομένη στρατηγική στατικής ανάθεσης και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης σε ιδεατό κυψελοειδές μοντέλο.

## 1.2 Δομή εργασίας

Στην εργασία γίνεται, αρχικά, μια εισαγωγή στην έννοια των κυψελοειδών συστημάτων και παρουσιάζεται η σταδιακή τους εξέλιξη. Αναφέρονται οι γενιές των κυψελοειδών δικτύων και ακολουθεί μια συνοπτική περιγραφή των διαφόρων τύπων των κυψελών που υπάρχουν. Στη συνέχεια, περιγράφονται συνοπτικά τα είδη παρεμβολής που υφίστανται στην περιοχή των ασύρματων τηλεπικοινωνιών.

Σε ειδικό κεφάλαιο, αναλύεται η θεωρία της τηλεπικοινωνιακής κίνησης μέσω της παρουσίασης θεμελιωδών ορισμών όπως είναι η συγκέντρωση, ο βαθμός εξυπηρέτησης, οι ώρες αιχμής, το επικοινωνιακό φορτίο, η ροή κίνησης και η φασματική αποδοτικότητα.

Ακολούθως, πραγματοποιείται μια εκτενής αναφορά στις μεθόδους κατανομής καναλιών. Παρουσιάζεται ο ορισμός της ανάθεσης καναλιών σε ένα κυψελοειδές κινητό σύστημα και επιπλέον, περιγράφονται ξεχωριστά τα βασικά σχήματα κατανομής καναλιών.

Ση συνέχεια, ακολουθεί το πειραματικό μέρος της εργασίας στο οποίο παρατίθεται ο αλγόριθμος ο οποίος προσομοιάζει τη στατική κατανομή. Αφού διευκρινιστούν τα είδη προσομοίωσης που υπάρχουν καθώς και η γενική δομή του προγράμματος, αναλύονται λεπτομερώς τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που προκύπτουν.

Η πτυχιακή αυτή εργασία αποτελείται λεπτομερώς από τα εξής κεφάλαια:

Στο κεφάλαιο 2 γίνεται μια σύντομη εισαγωγή στα κυψελοειδή συστήματα. Περιγράφεται η εξέλιξη των κινητών συστημάτων, τα κυψελοειδή τηλεφωνικά συστήματα, οι γενιές των κυψελοειδών δικτύων, η κυψελοειδή γεωμετρία – κάλυψη, οι βασικοί τύποι κυψελών, οι συστάδες και τα είδη των παρεμβολών.

Στο κεφάλαιο 3 ορίζονται τα βασικά μεγέθη της θεωρίας της τηλεπικοινωνιακής κίνησης, όπως η συγκέντρωση και ο βαθμός εξυπηρέτησης, οι ώρες αιχμής, οι μονάδες ροής κίνησης και η φασματική αποδοτικότητα.

Στο κεφάλαιο 4 ορίζεται το πρόβλημα της κατανομής καναλιών και αναφέρονται οι σημαντικότερες μέθοδοι, δηλαδή η στατική ανάθεση, η δυναμική ανάθεση, η υβριδική ανάθεση, η ευέλικτη ανάθεση, η ανάθεση δανεισμού καναλιών και η στατική και δυναμική ανάθεση.

Στο κεφάλαιο 5 περιγράφεται η γενική δομή του προγράμματος και ο αλγόριθμος υλοποίησης της στατικής κατανομής και εξάγονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης με τη μορφή κατάλληλων πινάκων και διαγραμμάτων. Η προσομοίωση πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το μαθηματικό λογισμικό πακέτο MATLAB.

Τέλος, στο κεφάλαιο 6 παρατίθενται συνοπτικά τα συμπεράσματα της μελέτης και προτείνονται ιδέες για μελλοντικές επεκτάσεις.

### 1.3 Ευχαριστίες

Η πτυχιακή αυτή εργασία αποτελεί έργο προσωπικής μου προσπάθειας. Για να ολοκληρωθεί και να φτάσει στο επιθυμητό αυτό σημείο απαιτήθηκαν ώρες μελέτης, συγκέντρωσης και συλλογής πληροφοριών. Ευχαριστώ όλους όσους με βοήθησαν καθ' όλη την περίοδο εκπόνησης και συγγραφής δίνοντάς μου κουράγιο και στήριξη. Επίσης, ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κύριο Χαρίλαο Σανδαλίδη, για τις πολύτιμες συμβουλές, τις συστάσεις και τις κατευθυντήριες γραμμές που μου έδινε. Τέλος, ευχαριστώ την τριμελή εξεταστική επιτροπή που μου κάνει την τιμή να αξιολογήσει την εργασία μου.

# 2

## Εισαγωγή στα κυψελοειδή συστήματα

### 2.1 Εξέλιξη κινητών συστημάτων

Τα *κινητά συστήματα* είναι τηλεπικοινωνιακά συστήματα που εξασφαλίζουν την επικοινωνία μεταξύ δύο ή περισσότερων κινούμενων χρηστών με ασύρματη σύνδεση. Παρέχουν τη δυνατότητα στους χρήστες να κινούνται ελεύθερα σε μια γεωγραφική περιοχή, και να επικοινωνούν μέσω τηλεφώνου, fax, modem και συνδρομητές ηλεκτρονικού ταχυδρομείου οπουδήποτε στον κόσμο.

Κάνοντας μια ιστορική αναδρομή στην εξέλιξη των κινητών συστημάτων διαπιστώνουμε ότι πρώτος ο Guglielmo Marconi παρουσίασε τις δυνατότητες των ραδιοεπικοινωνιών μεταξύ ανθρώπων που βρίσκονται εν κινήσει. Για πρώτη φορά τότε επιτεύχθηκε η επικοινωνία και η παροχή συνεχούς επαφής με τα πλοία που έπλεαν στο στενό της Μάγχης. Αυτό έγινε το 1897, και από τότε έχουν παρουσιαστεί πολλές νέες μέθοδοι και υπηρεσίες των ασύρματων επικοινωνιών [1]. Αξίζει να σημειωθεί ότι η πρώτη εταιρία που προσέφερε υπηρεσία κινητών τηλεφώνων ήταν η Αμερικανική Τηλεφωνική και Τηλεγραφική Εταιρεία AT&T το 1946. Η υπηρεσία αυτή ήταν κινητή αλλά όχι κυψελοειδής και ο σταθμός βάσης της είχε εμβέλεια περίπου 100km.

Τα πρώτα κινητά συστήματα που δημιουργήθηκαν χρησιμοποιούσαν διαμόρφωση FM (Frequency Modulation) και απαιτούσαν φάσμα εύρους 120 KHz προκειμένου να μεταδώσουν φάσμα φωνής 3 kHz. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούσαν για τη μετάδοση ογκώδεις συσκευές εγκατεστημένες σε αυτοκίνητα και επίσης διέθεταν πολύ μικρή χωρητικότητα. Στη συνέχεια το επόμενο βήμα ήταν η χρήση μεθόδων συγκέντρωσης

(trunking) – ώστε να μειωθεί ο περιορισμός της απαίτησης για αποκλειστική ζεύξη σε κάθε χρήστη [2].

Τα συμβατικά συστήματα κινητών τηλεφώνων που υπήρχαν πριν από την ανάπτυξη των κυψελοειδών συστημάτων λειτουργούσαν με πολλούς περιορισμούς. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα οι ανάγκες των συνδρομητών για εξυπηρέτηση να μην καλύπτονταν επαρκώς.

Τα βασικά μειονεκτήματα των συστημάτων αυτών ήταν [3]:

- Η μικρή χωρητικότητα του δικτύου η οποία οφειλόταν στους περιορισμούς που υπήρχαν στο εύρος ζώνης των διαθέσιμων ραδιοσυχνοτήτων, αλλά και στην υποτυπώδη οργάνωση του δικτύου.
- Ο χαμηλός βαθμός της ποιότητας της επικοινωνίας που παρείχαν, εξαιτίας της έλλειψης επεξεργασίας φωνής και της χρήσης μη αποδοτικών διαμορφώσεων.
- Ο μικρός βαθμός του επιπέδου φιλικότητας των συστημάτων προς τους χρήστες.
- Η χαμηλή απόδοση των ίδιων των συστημάτων, λόγω της ευαισθησίας που υπήρχε στις υπάρχουσες ατμοσφαιρικές συνθήκες.
- Το συχνό φαινόμενο εμφάνισης παρεμβολών.
- Το σχετικά υψηλό κόστος για τους συνδρομητές.
- Η ανεπιτυχής κάλυψη μεγάλων γεωγραφικών περιοχών.
- Η μη ικανοποιητική χρήση του διαθέσιμου φάσματος συχνότητας.

Ο τελευταίος αυτός περιορισμός, δηλαδή της μη ικανοποιητικής χρήσης του φάσματος συχνοτήτων που ήταν διαθέσιμο, είναι πολύ σημαντικός. Αυτό ήταν απόρροια της περιορισμένης ποσότητας φάσματος που χρησιμοποιούνταν στις τηλεπικοινωνίες. Η εμφάνιση όμως, στη συνέχεια, των κυψελοειδών συστημάτων κινητών επικοινωνιών ικανοποίησε σε μεγάλο βαθμό και αυτό αλλά και τα προηγούμενα μειονεκτήματα που αναφέρθηκαν [3].

## 2.2 Κυψελοειδή τηλεπικοινωνιακά συστήματα

### 2.2.1 Ορισμός κυψελοειδούς συστήματος

Ένα κυψελοειδές κινητό σύστημα τηλεπικοινωνιών είναι ένα κινητό τηλεπικοινωνιακό σύστημα με υψηλή χωρητικότητα, του οποίου το φάσμα συχνότητας που χρησιμοποιείται διαιρείται σε διακριτά κανάλια. Τα κανάλια ανατίθενται σε γεωγραφικές κυψέλες οι οποίες καλύπτουν όλη τη γεωγραφική περιοχή την οποία πρέπει να εξυπηρετεί το σύστημα και μπορούν να ξαναχρησιμοποιηθούν σε διαφορετικές κυψέλες της συγκεκριμένης γεωγραφικής περιοχής [3].

Η κυψελοειδής αρχιτεκτονική προσφέρει λύσεις στο πρόβλημα της φασματικής συμφόρησης και της χωρητικότητας των χρηστών. Τα κυψελοειδή ραδιοσυστήματα στηρίζονται σε αλγορίθμους επαναχρησιμοποίησης καναλιών σε μια περιοχή κάλυψης. Σε κάθε κυψέλη διατίθεται μια ομάδα καναλιών. Σε γειτονικές κυψέλες δίνονται διαφορετικά κανάλια. Με τον περιορισμό της περιοχής κάλυψης μέσα στα όρια μιας κυψέλης, η ίδια ομάδα καναλιών μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διαφορετικές κυψέλες που χωρίζονται μεταξύ τους από αποστάσεις αρκετά μεγάλες που να εξασφαλίζουν χαμηλά επίπεδα παρεμβολών. Έτσι η κυψελοειδής αρχιτεκτονική αυξάνει το συνολικό αριθμό των ταυτόχρονα διαθέσιμων χρηστών μέσα σε μια γεωγραφική περιοχή.

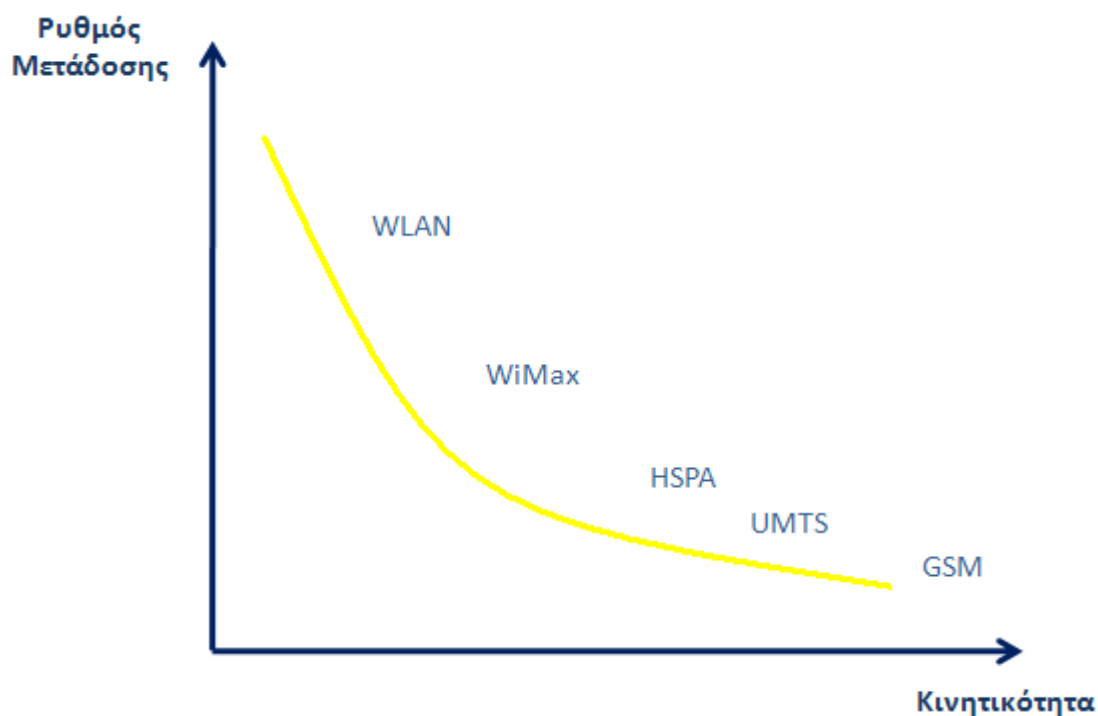
Τα κυψελοειδή συστήματα ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο μεταδίδουν την πληροφορία (αναλογικός ή ψηφιακός), διακρίνονται σε αναλογικά και ψηφιακά. Τα ψηφιακά συστήματα υπερτερούν σε πολλά χαρακτηριστικά από τα αναλογικά, τα οποία εμφανίστηκαν παλαιότερα, και για το λόγο αυτό τείνουν να αντικατασταθούν εξαιτίας της μικρής τους χωρητικότητας.

Τα κυψελοειδή συστήματα εμφανίστηκαν στα τέλη της δεκαετίας του 70. Από τότε η εξελικτική πορεία που ακολούθησε ήταν ραγδαία. Το 1979 η NTT/Japan αναπτύσσει το πρώτο κυψελοειδές κινητό σύστημα, ενώ το 1983 εμφανίζεται το Advanced Mobile Phone System (AMPS) στην Αμερική, το οποίο λειτουργεί στη ζώνη των 900 MHz. Η Ευρώπη απαντά το 1989 με το ψηφιακό σύστημα GSM (Groupe Special Mobile) το οποίο είναι το κυρίαρχο πρότυπο παγκοσμίως. Το GSM λειτούργησε το 1990 και οι συχνότητες λειτουργίας του καθορίστηκαν στα 900MHz. Στη συνέχεια, το 1991 παρουσιάζεται το DCS1800, που



αποτελεί μετεξέλιξη του GSM και οι συχνότητες λειτουργίας του καθορίστηκαν στα 1800 MHz, ενώ το 1994 αναπτύσσεται στην Αμερική μια άλλη εκδοχή του GSM γνωστό ως PCS1900 [2].

Το 2000, ξεκίνησαν οι πρώτες εμπορικές υπηρεσίες του GPRS. Παράλληλα έκαναν την εμφάνισή τους τα πρώτα κινητά συστήματα που παρέχουν ευρυζωνικές υπηρεσίες. Το 2001 αναπτύχθηκε το UMTS (W-CDMA) δίκτυο [9]. Το πρώτο ικανό δίκτυο HSDPA άρχισε να λειτουργεί το 2005 ενώ το 2007 ξεκίνησε το HSUPA δίκτυο. Το WiMAX είναι ένα ασύρματο ψηφιακό σύστημα επικοινωνιών, γνωστό και ως IEEE802.16, το οποίο αναβαθμίστηκε το 2004 και μπορεί να προσφέρει ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση (BWA) έως 5 - 15 χμ. για κινητούς σταθμούς [10]. Στο Σχήμα 2.1 που ακολουθεί περιγράφεται η εξέλιξη στα ασύρματα κυψελοειδή συστήματα με βάση τους ρυθμούς μετάδοσης σε συνάρτηση με την κινητικότητα των χρηστών.



Σχήμα 2.1: Εξέλιξη ασύρματων κυψελοειδών συστημάτων

### 2.2.2 Βασικά χαρακτηριστικά κυψελοειδών συστημάτων

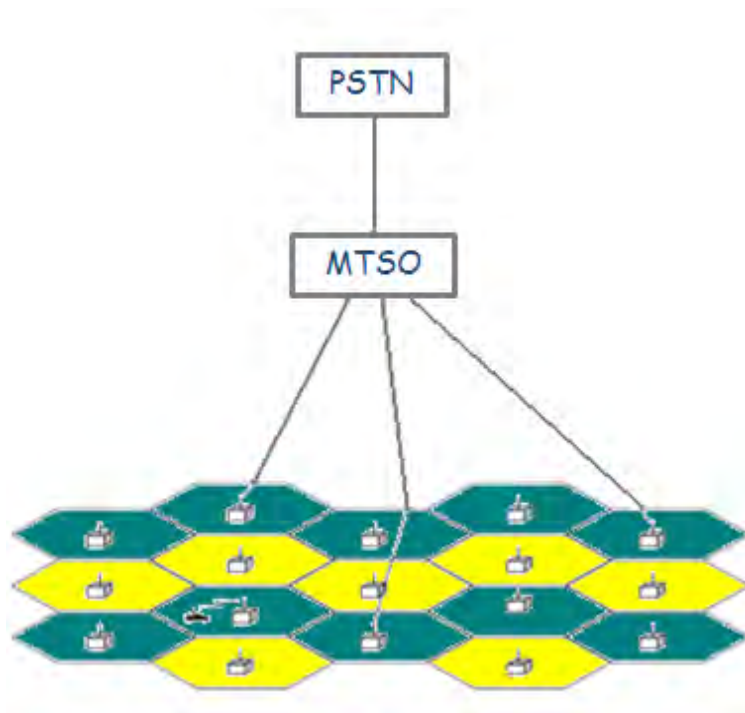
Οι βασικοί παράγοντες που χαρακτηρίζουν ένα κυψελοειδές κινητό σύστημα επικοινωνιών είναι οι παρακάτω [3]:

- *Κυψέλες:* Ορίζονται ως ανεξάρτητες γεωγραφικές περιοχές υπηρεσιών, κάθε μια από τις οποίες διαθέτει μια ξεχωριστή ομάδα καναλιών από το διαθέσιμο φάσμα συχνοτήτων. Οι συνδρομητές σε μια κυψέλη μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα κανάλια που ανατίθενται στην κυψέλη αυτή.
- *Υψηλή χωρητικότητα:* Τα κυψελοειδή συστήματα επιβάλλεται να διαθέτουν υψηλή χωρητικότητα καθώς επιβάλλεται να εξυπηρετούν έναν μεγάλο αριθμό χρηστών. Επίσης, είναι ανάγκη να παρέχουν υπηρεσίες υψηλής ποιότητας, συχνά συγκρίσιμες με αυτήν των ενσύρματων συστημάτων. Θεωρητικά, ένα κυψελοειδές σύστημα μπορεί να επεκταθεί τόσο ώστε να εξυπηρετήσει ένα μεγάλο αριθμό συνδρομητών.
- *Επαναχρησιμοποίηση καναλιού:* Η κάθε κυψέλη χρησιμοποιεί ένα αριθμό καναλιών. Τα κανάλια αυτά μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν και από άλλες κυψέλες όταν βρίσκονται σε μακρινή απόσταση από την πρώτη, ούτως ώστε να αποφεύγονται οι παρεμβολές.

Ένας χρήστης για να επιτύχει επικοινωνία χρειάζεται δύο κανάλια από τα οποία το πρώτο είναι για τη σύνδεση χρήστη - σταθμού βάσης και το δεύτερο για τη σύνδεση σταθμού βάσης - χρήστη. Εντούτοις, καθώς αυτά τα δύο κανάλια ανατίθενται μαζί, συχνά αναφέρονται σαν ένα κανάλι. Ανάλογα με το σχήμα πολυπλεξίας που χρησιμοποιείται από το κάθε κυψελοειδές σύστημα, με τον όρο *κανάλι* εννοούμε κατά ευρεία έννοια ένα σταθερό εύρος ζώνης συχνοτήτων (*FDMA: frequency division multiple access*), ή μια συγκεκριμένη χρονοθυρίδα (time-slot) σε ένα πλαίσιο (frame) (*TDMA: time division multiple access*), ή ένα συγκεκριμένο κώδικα (*CDMA: code division multiple access*) [2],[3].

### 2.2.3 Δομή κυψελοειδών συστημάτων

Τα κυψελοειδή συστήματα εξυπηρετούν έναν μεγάλο αριθμό χρηστών σε μια μεγάλη γεωγραφική έκταση δεδομένου του γεγονότος ότι το φάσμα συχνοτήτων είναι περιορισμένο. Παρέχουν, επίσης, υπηρεσίες υψηλής ποιότητας, που συχνά είναι συγκρίσιμες με εκείνες των ενσύρματων τηλεπικοινωνιακών συστημάτων.



Σχήμα 2.2: Γενική δομή κυψελοειδούς συστήματος

Στο σχήμα 2.2 παρουσιάζεται η δομή ενός κυψελοειδούς συστήματος που αποτελείται από τα παρακάτω μέρη [3], [4], [5]:

- *MTSO (Mobile Telephone Switching Office* - Κέντρο Μεταγωγής Κινητής Τηλεφωνίας): Το *MTSO*, που συχνά αναφέρεται και ως *MSC (Mobile Switching Center)* συνδέεται με το δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο. Έχει υπό την εποπτεία του το κυψελοειδές κινητό τηλεπικοινωνιακό σύστημα και σκοπός του είναι να ελέγχει τις διαδικασίες, συμπεριλαμβανομένων του ελέγχου των κλήσεων και της κοστολόγησης των υπηρεσιών [8]. Οι κύριες λειτουργίες του κέντρου μεταγωγής συνοψίζονται στις παρακάτω:
  - παρέχει κατανομή καναλιών στις κυψέλες,
  - συντονίζει τις κινητές μονάδες με τους σταθμούς βάσης,
  - εξασφαλίζει την ενδοεπικοινωνία του κινητού συστήματος με το δημόσιο ενσύρματο τηλεφωνικό δίκτυο *PSTN (Public Switched Telephone Network)*.

Ο γενικός ρόλος του MTSO είναι η επίτευξη της ακεραιότητας και της αξιοπιστίας του συστήματος. Ένα τυπικό MSC μπορεί να χειριστεί 100.000 συνδρομητές και 5.000 ταυτόχρονες συνομιλίες κάθε στιγμή, και καλύπτει επίσης όλες τις λειτουργίες των συστημάτων τιμολόγησης και συντήρησης. Σε μεγάλες πόλεις, χρησιμοποιούνται πολλά MSCs από έναν μόνο τηλεπικοινωνιακό πάροχο [5].

- *BS (Base Stations ή Cell Sites - Σταθμοί βάσης)*: Ένας σταθμός βάσης είναι ένας τοπικά σταθερός σταθμός, ο οποίος παρέχει επικοινωνία μεταξύ των κινητών μονάδων και του MTSO. Συνήθως υπάρχει ένας BS για κάθε κυψέλη ο οποίος τοποθετείται περίπου στο κέντρο της και αποτελείται από τις εξής επιμέρους διατάξεις:
  - τον σταθμό πομποδεκτών βάσης (BTS),
  - μια κεραία ή συνδυασμό κεραίων [1].
- *Mobile Units (Κινητές Μονάδες)*: Οι κινητές μονάδες είναι διεσπαρμένες σε όλες τις κυψέλες του συστήματος. Μια κινητή μονάδα αντιστοιχεί συνήθως σε ένα συνδρομητή και επικοινωνεί με το κοντινότερο σταθμό βάσης μέσω των καναλιών που ανατίθενται στην κυψέλη [4].

Το MTSO συνδέεται με το σταθμό βάσης μέσω μικροκυματικής, καλωδιακής ή οπτικής ζεύξης. Εξαιτίας της σύνδεσης του κέντρου μεταγωγής κινητής τηλεφωνίας με το δημόσιο τηλεφωνικό καλωδιακό δίκτυο επιτυγχάνεται η μεταβίβαση της πληροφορίας μεταξύ κινητών συσκευών ή μεταξύ κινητού και σταθερής τηλεφωνικής συσκευής.

Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του μέσου μεταφοράς επηρεάζουν κατά πολύ την αποδοτικότητα των κλήσεων, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την εξασθένηση της ισχύος του σήματος. Πρόσθετα, η ύπαρξη διαφόρων αντικειμένων (όπως δέντρα, κτίρια, κτλ.) στην περιοχή κάλυψης μιας κυψέλης, προκαλεί την εμφάνιση του φαινομένου των διακυμάνσεων που επηρεάζει την ισχύς των σημάτων και χαρακτηρίζεται με τον όρο *διάλειψη (fading)* [3].

## 2.3 Γενιές κυψελοειδών δικτύων

Τα κυψελοειδή συστήματα χωρίζονται σε γενιές (generations). Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά τα βασικά χαρακτηριστικά της κάθε γενιάς.

### **2.3.1 Συστήματα πρώτης γενιάς 1G**

Τα συστήματα πρώτης γενιάς άρχισαν να εμφανίζονται τη δεκαετία του '80. Είναι συστήματα που βασίζονται στην αναλογική τεχνολογία και χρησιμοποιούν κυρίως την αναλογική διαμόρφωση συχνότητας FM. Ένα χαρακτηριστικό μειονέκτημά τους είναι ότι παρέχουν ανεπαρκή μετάδοση χαμηλού ρυθμού δεδομένων μεταξύ του σταθμού βάσης και των χρηστών. Για το λόγο αυτό η χρήση τους συνιστάται κυρίως για μετάδοση φωνής [2], [3].

Όλα τα συστήματα 1ης γενιάς χρησιμοποιούν πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης συχνότητας (FDMA), καθώς και αμφίδρομη επικοινωνία διαίρεσης συχνότητας (*Frequency Division Duplex - FDD*). Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα συστημάτων πρώτης γενιάς είναι το κινητό σύστημα τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών (AMPS) που αναπτύχθηκε στις ΗΠΑ. Άλλα τέτοια συστήματα είναι τα NMT-900 (Σκανδιναβία), TACS (UK) και C-450 (Γερμανία).

### **2.3.2 Συστήματα δεύτερης γενιάς 2G**

Σε αντίθεση με τα συστήματα πρώτης γενιάς, που σχεδιάστηκαν βασικά για μετάδοση φωνής, τα ασύρματα συστήματα δεύτερης γενιάς σχεδιάστηκαν συγκεκριμένα για να παρέχουν και άλλες υπηρεσίες, όπως είναι η μετάδοση υψηλού ρυθμού δεδομένων. Η δομή και ο τρόπος λειτουργίας τους είναι πιο περίπλοκος δεδομένου ότι πολλές λειτουργίες διεκπεραιώνονται και από τις κινητές μονάδες. Όλα τα συστήματα δεύτερης γενιάς χρησιμοποιούν ψηφιακή κωδικοποίηση φωνής και ψηφιακή διαμόρφωση [3].

Παραδείγματα τέτοιων συστημάτων αποτελούν: το δίκτυο GSM το οποίο χρησιμοποιεί κανάλια των 200 kHz και έχει ρυθμό μετάδοσης 270 kbps, το CDMA το οποίο χρησιμοποιεί κανάλια των 1,250 kHz, το DSC-1800, τα αμερικάνικα IS-54 με ρυθμό μετάδοσης 48 kbps και IS-95/cdmaOne, το JDC και το Γιαπωνέζικο PDC. Το IS-54 and το JDC χρησιμοποιούν την ίδια απόσταση φερόντων (μέγεθος καναλιού) με τα συστήματα 1G (στα 30 kHz και 25 kHz, αντίστοιχα). Τέλος, αναφέρεται ότι οι υψηλότεροι ρυθμοί μετάδοσης επιτρέπουν την ευκολότερη ενσωμάτωση υπηρεσιών μετάδοσης δεδομένων [7].

### **2.3.3 Συστήματα 2.5G**

Οι ανάγκες για ταχύτερη πρόσβαση στο Internet και τη γρήγορη μεταφορά δεδομένων ώθησαν τα συστήματα 2ης γενιάς προς νέα εξέλιξη. Έτσι, την αργή και χαμηλών

δυνατοτήτων γενιά 2G ακολούθησαν τα *συστήματα 2.5G*. Τα τεχνολογικά πρότυπα της 2.5G είναι το *GPRS (General Packet Radio Service)* και το *EDGE (Enhanced Data rates for Global Evolution)*, με πιο διαδεδομένο το GPRS, το οποίο χρησιμοποιείται και στην Ελλάδα [3].

### **2.3.4 Συστήματα τρίτης γενιάς 3G**

Τα ασύρματα *συστήματα τρίτης γενιάς* αποτελούν ένα διεθνές πρότυπο που αντικαθιστά το 2G. Χρησιμοποιούν διάφορους τύπους πληροφορίας (φωνή, δεδομένα, και βίντεο), συνδυάζοντας τους με υψηλούς ρυθμούς Παρέχουν προσβασιμότητα σε πυκνές ή αραιά εποικημένες περιοχές και μπορούν να εξυπηρετήσουν ακίνητους και κινούμενους χρήστες που ταξιδεύουν με υψηλές ταχύτητες.

Παραδείγματα συστημάτων τρίτης γενιάς αποτελούν το σύστημα τηλεπικοινωνιών UMTS και το W-CDMA [5].

### **2.3.5 Συστήματα τέταρτης γενιάς 4G**

Τα συστήματα τέταρτης γενιάς αποτελούν το στάδιο της ευρυζωνικής κινητής επικοινωνίας που θα ακολουθήσει και θα είναι εξέλιξη της τρίτης γενιάς. Τα 4G εξασφαλίζουν επέκταση της χωρητικότητας των 3G κατά μία τάξη μεγέθους, προσφέρουν υπηρεσίες πολυμέσων που αλληλεπιδρούν και εξασφαλίζουν υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης σε χαμηλό κόστος. Τα συστήματα τέταρτης γενιάς τα οποία είναι όλα ψηφιακά, βρίσκονται σε στάδιο ανάπτυξης και αναμένεται να λειτουργήσουν ευρέως στο εγγύς μέλλον [11].

## **2.4 Κυψελοειδής γεωμετρία- κάλυψη**

### **2.4.1 Τι είναι η κυψελοειδής γεωμετρία**

Τα πρώτα συστήματα κινητής τηλεφωνίας δεν ήταν κυψελοειδή. Συνεπώς, για την κάλυψη μιας μεγάλης περιοχής χρειαζόταν ένας ισχυρός πομπός καθώς και μια κεραία τοποθετημένη σε μια υψηλή τοποθεσία. Επιπλέον, η επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων δεν ήταν εφικτή οπότε αυτό είχε σαν αποτέλεσμα την πολύ μικρή χωρητικότητα του συστήματος. Απόρροια των πιο πάνω ήταν η ανάπτυξη των κυψελοειδών συστημάτων ώστε να εξασφαλίζεται πιο επαρκής κάλυψη [6].

Η κυψελοειδής γεωμετρία ή κάλυψη επιτυγχάνεται με την τμηματοποίηση μιας συγκεκριμένης γεωγραφικής περιοχής σε μικρές ζώνες ή κυψέλες, όπου υπάρχει η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης των ίδιων καναλιών. Ένα από τα πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής, είναι η αύξηση της χωρητικότητας του συστήματος. Έτσι, κάθε κανάλι μπορεί να χρησιμοποιηθεί ταυτόχρονα σε διαφορετικές κυψέλες, οι οποίες θα πρέπει να βρίσκονται σε τέτοια απόσταση, ώστε να μην δημιουργούνται προβλήματα ομοκαναλικής παρεμβολής (*co-channel interference*) [4].

#### 2.4.2 Η γεωμετρική μορφή της κυψέλης

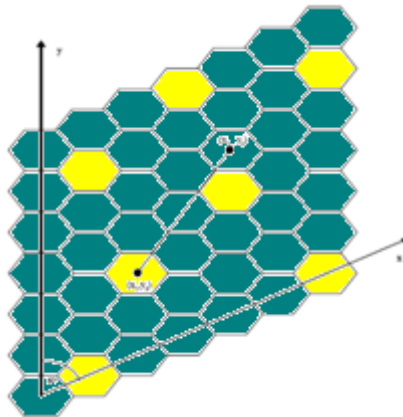
Οι κεραίες που βρίσκονται στους σταθμούς βάσης θεωρητικά έχουν ομοκατευθυντικό διάγραμμα ακτινοβολίας και λόγω της ομοιομορφίας των κυψελών εκπέμπουν τα ραδιοσήματα με την ίδια ισχύ. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ολόκληρη η γεωγραφική περιοχή που εξυπηρετείται να καλύπτεται από κύκλους με ίση ακτίνα, αφού η εμβέλεια όλων των πομποδεκτών είναι ίδια. Συνεπώς, σε ιδανικές συνθήκες, η γεωμετρική μορφή της κυψέλης θα πρέπει να είναι κυκλική.

Στην πραγματικότητα όμως, η μορφή της κυψέλης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από άλλους παράγοντες όπως είναι για παράδειγμα η μορφολογία του εδάφους. Άρα όπως είναι αναμενόμενο, η θεωρητικά ιδεατή κάλυψη μια κυψέλης σχεδόν ποτέ δεν επιτυγχάνεται. Ωστόσο, έχει υπολογιστεί ότι η γεωμετρία του εξαγώνου προσομοιώνει σε μεγάλο βαθμό τόσο τις ιδανικές κυψέλες - κύκλους όσο και τις πραγματικές τυχαίες. Γι αυτό το λόγο κυρίως έχει καθιερωθεί η αναπαράσταση της κυψέλης με ένα εξάγωνο στο κέντρο του οποίου θεωρούμε ότι είναι εγκατεστημένος ο σταθμός βάσης [3].



Σχήμα 2.3: Μορφές κυψελών

### 2.4.3 Απόσταση δύο σημείων



Σχήμα 2.4: Σύστημα συντεταγμένων

Το πιο εύχρηστο σύστημα συντεταγμένων για την εξαγωνική κυψέλη είναι η αναπαράσταση με 2 άξονες με γωνία 60 μοιρών μεταξύ τους (Σχήμα 2.4). Αν δυο σημεία (κέντρα εξαγώνου) έχουν συντεταγμένες  $(x_1, y_1)$  και  $(x_2, y_2)$  τότε η μεταξύ τους απόσταση είναι:

$$D = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (x_2 - x_1)(y_2 - y_1)} \quad (2.1)$$

Η απόσταση του σημείου  $(i, j)$  από την αρχή των συντεταγμένων είναι:

$$D = \sqrt{(i + j)^2 - i \cdot j} \quad (2.2)$$

Από τις παραπάνω σχέσεις προκύπτει ότι η κανονικοποιημένη απόσταση μεταξύ 2 γειτονικών σταθμών βάσεων είναι 1 ενώ στην πραγματικότητα είναι [3], [5]:

$$\sqrt{3} \cdot R = 2 \cdot R \cdot \cos 30^\circ \quad (2.3)$$

όπου  $R$  η ακτίνα του εξαγώνου [6].

## 2.5 Τύποι κυψελών

Ανάλογα με το μέγεθος των κυψελών τα κυψελοειδή δίκτυα μπορούν να έχουν διάφορους τύπους κυψελών οι πιο σημαντικές από τις οποίες είναι οι ακόλουθες [1], [3].

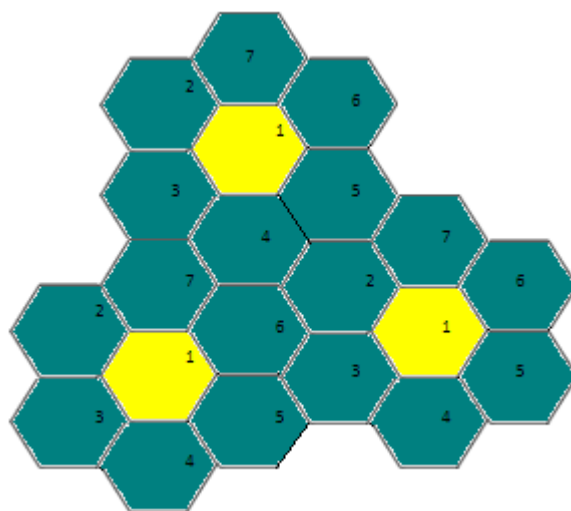
- *Κυψέλες μέγιστης κάλυψης (Overlay cells)* με ακτίνα κάλυψης η οποία φθάνει μέχρι μερικές εκατοντάδες Km. Χρησιμοποιούνται στην δορυφορική κινητή τηλεφωνία.



- *Υπερκυψέλες (Hyper cells)* με ακτίνα κάλυψης πάνω από 20 Km. Χρησιμοποιούνται για την επικοινωνιακή κάλυψη κινητών μονάδων οι οποίες ευρίσκονται εντός επαρχιακών περιοχών.
- *Μακροκυψέλες (Macro cells)* με ακτίνα κάλυψης από 1 Km έως 20 Km. Χρησιμοποιούνται για την επικοινωνιακή κάλυψη των κινητών μονάδων που κινούνται σε οδούς εκτός πόλεων καθώς και σε πυκνοκατοικημένες περιοχές.
- *Μικροκυψέλες (Micro cells)* με ακτίνα κάλυψης από 100 m έως 1 Km. Χρησιμοποιούνται για την κάλυψη των επικοινωνιακών αναγκών των κινητών μονάδων οι οποίες βρίσκονται και κινούνται σε κεντρικές περιοχές πόλεων.
- *Πικοκυψέλες (Pico cells)*: Οι κυψέλες αυτές έχουν ακτίνα κάλυψης μικρότερη από 100 m. Χρησιμοποιούνται για την κάλυψη των επικοινωνιακών αναγκών των χρηστών με φορητές μονάδες οι οποίοι κινούνται γενικά εντός κτιρίων (π.χ. γραφεία, κατοικίες) [4].

## 2.6 Επαναχρησιμοποίηση καναλιών

Σε κάθε κυψελοειδή σταθμό βάσης ανατίθεται μια ομάδα καναλιών η οποία θα χρησιμοποιηθεί μέσα στην κυψέλη. Στους σταθμούς βάσης γειτονικών κυψελών εκχωρούνται διαφορετικές ομάδες καναλιών. Οι κεραίες των σταθμών βάσης σχεδιάζονται έτσι ώστε να επιτυγχάνουν την επιθυμητή κάλυψη μέσα σε μια συγκεκριμένη κυψέλη. Με τον περιορισμό της περιοχής κάλυψης μέσα στα όρια μιας κυψέλης, είναι εφικτό να χρησιμοποιηθεί η ίδια ομάδα καναλιών για να καλύψει διαφορετικές κυψέλες οι οποίες χωρίζονται μεταξύ τους από αρκετά μεγάλες αποστάσεις. Αυτό βοηθάει ώστε να διατηρούνται μέσα σε επιτρεπτά όρια τα επίπεδα παρεμβολών. Η διαδικασία, λοιπόν, σχεδίασης της επιλογής και της κατανομής των καναλιών για όλους τους σταθμούς βάσης μέσα σε ένα σύστημα ονομάζεται *επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων*.

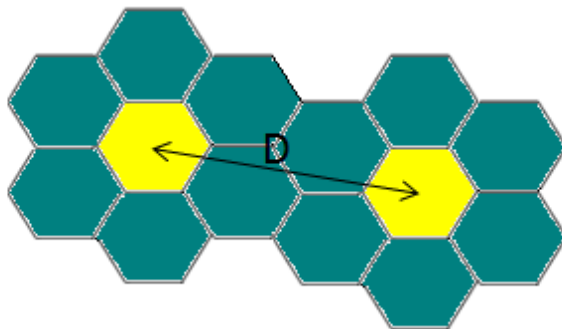


Σχήμα 2.5: Κυψελοειδής επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων

Μια απεικόνιση της επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.5. Στο συγκεκριμένο σχήμα υπάρχουν κυψέλες οι οποίες χαρακτηρίζονται από τον ίδιο αριθμό. Αυτές οι κυψέλες χρησιμοποιούν την ίδια ομάδα καναλιών.

Επομένως, τα κανάλια που χρησιμοποιούνται σε μια κυψέλη μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε άλλες, αυξάνοντας έτσι τη χωρητικότητα του συστήματος. Τα συγκεκριμένα, όμως, κανάλια μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο εφόσον η απόσταση μεταξύ των κυψελών είναι αρκετά ικανοποιητική για την αποφυγή της ομοκαναλικής παρεμβολής, η οποία και θα αναλυθεί παρακάτω. Η ελάχιστη απόσταση που επιτρέπει τη χρησιμοποίηση των ίδιων καναλιών λέγεται *απόσταση επαναχρησιμοποίησης καναλιού  $D$*  (Σχήμα 2.6), και εξαρτάται από τον σχεδιασμό του συστήματος και τη γεωγραφία της περιοχής κάλυψης.

Συνεπώς, οι κυψέλες μπορούν να χρησιμοποιούν τα ίδια κανάλια με την προϋπόθεση ότι η απόσταση των κέντρων τους είναι ίση ή πολλαπλάσια της απόστασης επαναχρησιμοποίησης. Εάν ισχύει αυτό τότε αυτές οι κυψέλες ανήκουν στο ίδιο *σχήμα επαναχρησιμοποίησης*. Το σχήμα επαναχρησιμοποίησης προκύπτει πηγαίνοντας από μία κυψέλη σε μια άλλη με βήματα μήκους που είναι ίσα με την απόσταση επαναχρησιμοποίησης. Οι κυψέλες εκείνες που χρησιμοποιούν τα ίδια κανάλια καλούνται ομοκαναλικές κυψέλες και πρέπει να διαχωρίζονται επαρκώς προκειμένου να αποφευχθούν παρεμβολές.



Σχήμα 2.6: Απόσταση επαναχρησιμοποίησης καναλιού D

## 2.7 Συστάδες

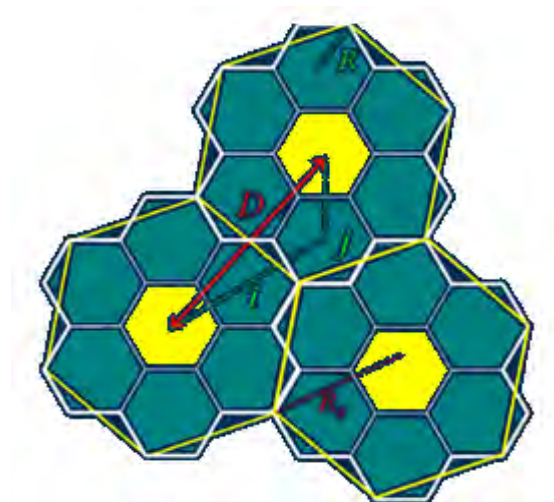
Οι κυψέλες οργανώνονται σε συστάδες. Μια *συστάδα* (*cluster*) χρησιμοποιεί όλο το σύνολο καναλιών του συστήματος. Κάθε κυψέλη μέσα σε μια συστάδα χρησιμοποιεί διαφορετικό σύνολο καναλιών. Ο αριθμός των κυψελών K μέσα σε μια συστάδα είναι το μέγεθος της συστάδας και καθορίζει τον αριθμό των διαφορετικών K συνόλων καναλιών στην ίδια συστάδα [4].

Χρησιμοποιώντας εξαγωνική γεωμετρία η απόσταση των κέντρων των συστάδων ή αλλιώς όπως αποκαλείται *Απόσταση Επαναχρησιμοποίησης*, είναι D. Συνεπώς η ακτίνα  $R_c$  μιας συστάδας υπολογίζεται ως εξής:

$$D = 2\frac{\sqrt{3}}{2}R_c \Rightarrow R_c = \frac{D}{\sqrt{3}} \quad (2.4)$$

Σε σύστημα αξόνων υπό γωνία 60 μοιρών η μονάδα είναι  $\sqrt{3} R$ . Άρα:

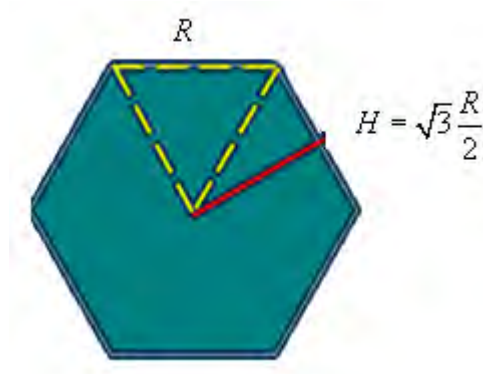
$$R_c = R\sqrt{3} \quad (2.5)$$



Σχήμα 2.7: Γεωμετρικές αποστάσεις

Χρησιμοποιώντας Ευκλείδεια γεωμετρία η επιφάνεια εξαγώνου ακτίνας  $R$  δίνεται ως [6]:

$$E = \frac{3\sqrt{3}}{2} R^2 \quad (2.6)$$



Σχήμα 2.8: Γεωμετρία εξαγώνου

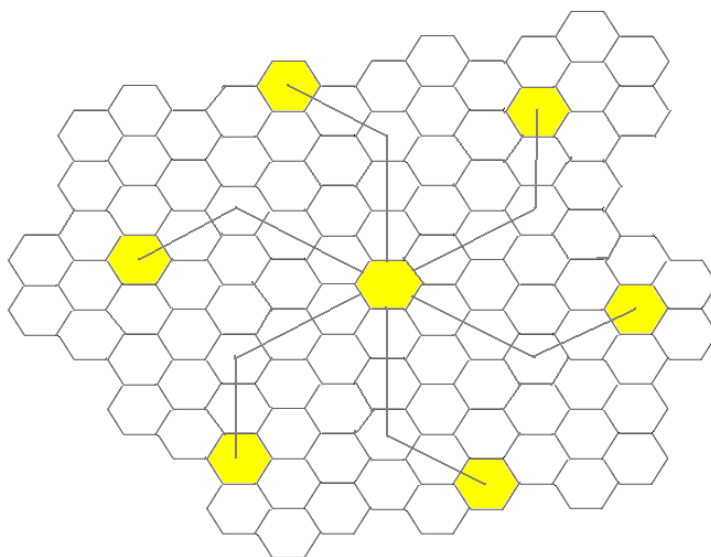
Έτσι, ο αριθμός των κυψελών σε μια συστάδα, όπως περιγράφηκε και παραπάνω, είναι:

$$K = \frac{\text{επιφάνεια συστάδας}}{\text{επιφάνεια κυψέλης}} = \frac{\frac{3\sqrt{3}}{2} R_c}{\frac{3\sqrt{3}}{2} R} = \frac{D^2}{3R^2} = i^2 + i \cdot j + j^2 \quad (2.7)$$

όπου  $i$  και  $j$  είναι μη αρνητικοί ακέραιοι. Για να βρεθούν οι πιο κοντινοί ομακαναλικοί γείτονες μιας συγκεκριμένης κυψέλης, πρέπει να πραγματοποιηθούν τα ακόλουθα [3], [5]:

- να μετακινηθούμε  $i$  κυψέλες κατά μήκος οποιασδήποτε αλυσίδας εξαγώνων,
- να στραφούμε κατά 60 μοίρες αριστερόστροφα και
- να μετακινηθούμε άλλες  $j$  κυψέλες.

Αυτό απεικονίζεται στο Σχήμα 2.9 που ακολουθεί για  $i = 3$  και  $j = 2$  ( $K = 19$ ).



Σχήμα 2.9: Ομοκαναλικές κυψέλες

Η κυψέλη που προκύπτει είναι η ζητούμενη *ομοκαναλική κυψέλη*. Ο ίδιος τρόπος ακολουθείται για τον εντοπισμό των υπολοίπων ομοκαναλικών κυψελών, μέχρι να καλυφθεί ολόκληρη η περιοχή κάλυψης. Για μια συγκεκριμένη διάσταση της συστάδας και ακτίνα  $R$ , η απόσταση επαναχρησιμοποίησης καναλιού  $D$  μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση

$$D = \sqrt{3KR} \quad (2.8)$$

## 2.8 Είδη παρεμβολών

Τα κυψελοειδή συστήματα εξαιτίας του ασύρματου τρόπου μετάδοσης της πληροφορίας μαστίζονται από φαινόμενα παρεμβολών. Η παρεμβολή στα κανάλια φωνής δημιουργεί τα λεγόμενα φαινόμενα *συνακρόασης (crosstalk)*. Στην περίπτωση των φαινομένων αυτών, ο συνδρομητής ακούει συνομιλίες στο βάθος εξαιτίας μιας άλλης κλήσης που λαμβάνει χώρα ταυτόχρονα με τη δική του. Στα κανάλια βίντεο δημιουργείται το φαινόμενο των ειδώλων

όπου εμφανίζονται σκιές πίσω από την εικόνα που μεταδίδεται. Στα κανάλια ελέγχου, η παρεμβολή οδηγεί σε εμπλοκή κλήσεων [3].

Η εμφάνιση παρεμβολών αποτελεί το σημαντικότερο αρνητικό παράγοντα απέναντι στις απαιτήσεις για χωρητικότητας που πρέπει να καλύπτουν τα κινητά δίκτυα. Οι σπουδαιότερες παρεμβολές που συναντώνται είναι η ομοκαναλική παρεμβολή, η παρεμβολή γειτονικού καναλιού και η ενδοδιαμόρφωση.

### 2.8.1 Ομοκαναλική παρεμβολή (Co-Channel Interference - CCI)

Η επαναχρησιμοποίηση καναλιών, όπως έχει ειπωθεί και πιο πάνω, αυξάνει την αποδοτικότητα και τη χωρητικότητα των κινητών συστημάτων. Ωστόσο, στην περίπτωση που το σύστημα δεν έχει σχεδιαστεί κατάλληλα, η κοινή χρήση του ίδιου καναλιού προκαλεί πολλές φορές *ομοκαναλική παρεμβολή (cochannel interference)*. Η παρεμβολή αυτή είναι η κρισιμότερη από όλες τις υπόλοιπες και εμφανίζεται συχνότερα σε ώρες μέγιστης αιχμής, όταν δηλαδή το σύστημα το χρησιμοποιούν πολλοί συνδρομητές.

Για να επιτευχθεί η συνολική καταστολή της ομοκαναλικής παρεμβολής θα πρέπει να μην έχουμε επαναχρησιμοποίηση καναλιών. Κάτι τέτοιο, όμως, είναι αντίθετο με την θεμελιώδη κυψελοειδή ιδέα, η οποία και επέφερε επανάσταση στον τρόπο λειτουργίας των κινητών συστημάτων. Κατά συνέπεια, προκειμένου να εξασφαλιστεί μια τιμή της ομοκαναλικής παρεμβολής μέσα σε ανεκτά όρια, πρέπει ο σχεδιαστής ενός κυψελοειδούς συστήματος να λαμβάνει υπόψη του κατάλληλες τιμές της απόστασης επαναχρησιμοποίησης  $D$ .

Αποδεικνύεται ότι όταν το μέγεθος της κάθε κυψέλης ενός κυψελοειδούς συστήματος είναι σχεδόν το ίδιο, τότε η ομοκαναλική παρεμβολή δεν επηρεάζεται από την εκπεμπόμενη ισχύ και υπολογίζεται συναρτήσει της ακτίνας της κυψέλης  $R$  και της απόστασης επαναχρησιμοποίησης  $D$ . Ο όρος:

$$q = \frac{D}{R} = \sqrt{3 \cdot K} \quad (2.9)$$

καλείται *παράγοντας μείωσης της ομοκαναλικής παρεμβολής* ή *παράγοντας επαναχρησιμοποίησης* και προσδιορίζει το μέγεθος της ομοκαναλικής παρεμβολής. Ο παράγοντας αυτός καθορίζει τη φασματική αποδοτικότητα μέσα σε μια κυψέλη και σχετίζεται με τον αριθμό των κυψελών  $K$  που βρίσκονται σε μια συστάδα.

Στην περίπτωση που όλες οι κυψέλες εκπέμπουν την ίδια ισχύ τότε η απόσταση επαναχρησιμοποίησης καναλιού  $D$  αυξάνεται καθώς αυξάνεται το  $K$ . Επομένως, τα προβλήματα που δημιουργεί η ομοκαναλική παρεμβολή θα μπορούσαν να μειωθούν αισθητά αν χρησιμοποιηθούν συστάδες με μεγάλο αριθμό κυψελών. Ένα πλεονέκτημα των μεγάλων συστάδων, όπως προκύπτει, είναι το γεγονός ότι η παρεμβολή από ομοκαναλικές κυψέλες μειώνεται επειδή η απόσταση μεταξύ τους αυξάνεται ταυτόχρονα με την αύξηση του μεγέθους συστάδας  $K$ . Στην περίπτωση όμως που το  $K$  είναι μεγάλο, ο αριθμός των καναλιών ανά κυψέλη είναι μικρός. Ως συνέπεια αυτού είναι η ανεπαρκής χρήση του διαθέσιμου φάσματος συχνότητας.

Συνεπώς, η αποδοτικότητα φάσματος μπορεί να επιτευχθεί επιλέγοντας μια κατάλληλη τιμή της ομοκαναλικής παρεμβολής και ενός μικρού μεγέθους συστάδας και απόστασης επαναχρησιμοποίησης. Για το λόγο αυτό απαιτείται η χρήση του μικρότερου πιθανού μεγέθους  $K$  το οποίο και θα επιφέρει την ελάχιστη απόσταση  $D$  [1], [2], [3], [6].

### **2.8.2 Παρεμβολή γειτονικού καναλιού (*Adjacent channel Interference*)**

Εκτός από την ομοκαναλική παρεμβολή ένα δεύτερο είδος παρεμβολής είναι η *παρεμβολή μεταξύ 2 γειτονικών καναλιών της ίδιας κυψέλης (co-site interference)* ή *παρεμβολή γειτονικών κυψελών (adjacent channel interference)*. Πρέπει να σημειωθεί ότι το αναφερόμενο ως γειτονικό κανάλι δεν είναι απαραίτητα το πραγματικό διπλανό κανάλι σύμφωνα με την αυστηρή τηλεπικοινωνιακή έννοια, αλλά το κοντινότερο κανάλι που ανατίθεται σε μια κυψέλη και το οποίο μπορεί να είναι αρκετές περιοχές συχνοτήτων μακριά.

Η παρεμβολή αυτή γίνεται ιδιαίτερα αισθητή όταν ο χρήστης που χρησιμοποιεί το γειτονικό κανάλι βρίσκεται πολύ κοντά στον σταθμό βάσης. Για την αποφυγή της παρεμβολής γειτονικού καναλιού απαιτείται κατάλληλη σχεδίαση του συστήματος και αποφυγή ανάθεσης γειτονικών καναλιών στην ίδια κυψέλη [3].

### **2.8.3 Ενδοδιαμόρφωση (*Intermodulation*)**

Μια άλλη σημαντική παρεμβολή είναι η *παρεμβολή ενδοδιαμόρφωσης (intermodulation interference)*. Η ενδοδιαμόρφωση, είναι το αποτέλεσμα δύο ή περισσότερων σημάτων με διαφορετικές συχνότητες που αναμιγνύονται μαζί. Προκαλείται όταν τα κυκλώματα

επεξεργασίας σήματος, τα οποία χρησιμοποιούνται κατά την μετάδοση ραδιοσημάτων, δεν εμφανίζουν γραμμική συμπεριφορά.

Η αντιμετώπιση του φαινομένου αυτού γίνεται με την αντικατάσταση των διαφόρων εξαρτημάτων με άλλα, τα οποία είναι περισσότερο γραμμικά. Με τον τρόπο αυτό τα δημιουργούμενα προϊόντα ενδοδιαμόρφωσης έχουν μικρότερο πλάτος και συνεπώς μικρότερη ισχύ. Επίσης, η παρεμβολή αυτή μπορεί να αντιμετωπιστεί χρησιμοποιώντας λογισμικές διαδικασίες και κατάλληλες μεθόδους ανάθεσης καναλιών [1], [3].

## Αναφορές στη Βιβλιογραφία

- [1] Σ. Κωτσόπουλος, Γ. Καραγιαννίδης, Κινητή Τηλεφωνία, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 1997.
- [2] Th. S. Rappaport, Ασύρματες Επικοινωνίες - Αρχές και Πρακτική, 2η έκδοση, Εκδόσεις Γκιούρδας 2006 (μεταφρασμένο).
- [3] Χ. Σανδαλίδης, Διαφάνειες Μαθήματος «Ασύρματα Επικοινωνιακά Συστήματα», Τμήμα Πληροφορικής με Εφαρμογές στη Βιοϊατρική, Πανεπιστήμιο Στερεάς Ελλάδας, 2010.
- [4] Μ. Ε. Θεολόγου, Δίκτυα Κινητών & Προσωπικών Επικοινωνιών, Εκδόσεις Τζιόλα, 2007.
- [5] Α. Κανατάς, Φ. Κωνσταντίνου, Γ. Πάντος, Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 2008.
- [6] Β. Αγγελάκης, Διαφάνειες Μαθήματος «Κινητές και Προσωπικές Τηλεπικοινωνίες», Τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής και Πολυμέσων, Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, 2003.
- [7] Δίκτυα Κινητής Επικοινωνίας, go-online site. Internet. [Online]. Available: [http://www.go-online.gr/ebusiness/specials/article.html?article\\_id=1397](http://www.go-online.gr/ebusiness/specials/article.html?article_id=1397)
- [8] MTSO, Tech-Faq site. Internet. [Online]. Available: <http://www.tech-faq.com/mtso-mobile-telephone-switching-office.shtml>
- [9] UMTS, Wikipedia site. Internet. [Online]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/Umts>



- [10] WiMax, Wikipedia site. Internet. [Online]. Available:  
<http://en.wikipedia.org/wiki/WiMAX>
- [11] Α. Κουρτελής, Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία «Δίκτυα 4<sup>ης</sup> Γενιάς (4G)», Διαπανεπιστημιακό Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Προηγμένα Συστήματα Υπολογιστών και Επικοινωνιών», Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2009.

# 3

## Θεωρία τηλεπικοινωνιακής κίνησης

### 3.1 Τηλεπικοινωνιακή κίνηση στα κυψελοειδή συστήματα

Ο σχεδιασμός των κυψελοειδών συστημάτων έγινε με πρωταρχικό στόχο να εξυπηρετούνται μεγάλες ποσότητες τηλεπικοινωνιακής κίνησης. Οι κλήσεις δημιουργούνται από τους χρήστες σε εντελώς τυχαίες χρονικές στιγμές και εξαρτώνται αποκλειστικά από τις ιδιαίτερες ανάγκες και συνήθειες του κάθε χρήστη. Αν ένας χρήστης επιθυμεί να επικοινωνήσει με έναν άλλο, το αποτέλεσμα θα είναι είτε να επιτευχθεί η επικοινωνία μεταξύ τους είτε να εγκαταλειφθεί η προσπάθεια. Η επικοινωνία μπορεί να υπάρξει αμέσως ή μετά από κάποιον αριθμό αποτυχιών.

Ως *ποσότητα κυψελοειδούς κίνησης* σε μια χρονική περίοδο ορίζεται η συνολική διάρκεια χρησιμοποίησης των καναλιών στην περίοδο αυτή. Η εστίαση γίνεται κατά κύριο λόγο στην κίνηση η οποία σχετίζεται με έναν σταθμό βάσης που διαθέτει συγκεκριμένο αριθμό καναλιών για την εξυπηρέτηση μεγάλου αριθμού χρηστών. Οι σημαντικότεροι παράγοντες για την εξυπηρέτηση της κίνησης είναι [1], [2], [3]:

- ο ρυθμός άφιξης των κλήσεων,
- η διάρκεια κατάληψης των καναλιών για τις επιτυχείς κλήσεις,
- ο συνολικός αριθμός των διαθέσιμων καναλιών,
- η πιθανότητα εμπλοκής των κλήσεων και
- ο τρόπος αντιμετώπισης των μπλοκαρισμένων κλήσεων.

Ο ρυθμός των κλήσεων που προσφέρονται ανά μονάδα χρόνου, δηλαδή ο *ρυθμός κλήσεων*, σε έναν σταθμό βάσης ποικίλει. Η άφιξη των κλήσεων είναι ένα τυχαίο φαινόμενο το οποίο το

χαρακτηρίζουν οι νόμοι πιθανοτήτων που ελέγχουν τους χρόνους μεταξύ δύο διαδοχικών κλήσεων αλλά και ο αριθμός των κλήσεων που δημιουργούνται μέσα σε ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα. Ομοίως, η διάρκεια της επικοινωνίας ή της κατάληψης ενός καναλιού είναι και αυτά τυχαία φαινόμενα. Οι τερματισμοί των κλήσεων συμβαίνουν επίσης σε τυχαίες χρονικές στιγμές και η λειτουργία του συστήματος τα επηρεάζει κατά πολύ μεγάλο βαθμό.

Η θεωρία τηλεπικοινωνιακής κίνησης ασχολείται με τα προβλήματα αναμονής ή/και απωλειών στα τηλεπικοινωνιακά συστήματα. Τέτοια προβλήματα συνήθως είναι ο υπολογισμός της καθυστέρησης των κλήσεων, ο υπολογισμός του πλήθους των κατειλημμένων καναλιών και ο καθορισμός των συνδιαλέξεων που βρίσκονται σε εξέλιξη. Η ανάλυση των προβλημάτων αυτών εξαρτάται τόσο από τις διαδικασίες εισόδου και εξόδου όσο και από τη δομή του ίδιου του συστήματος [3].

### 3.2 Ροή τηλεφωνικής κίνησης (Traffic flow)

Η *ροή κίνησης (traffic flow)* σε μία κυψέλη, υπολογίζεται ως το γινόμενο του αριθμού των κλήσεων που πραγματοποιούνται σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο και της μέσης χρονικής διάρκειας της κάθε κλήσης. Επίσης, η ροή κίνησης υπολογίζεται και ως το πηλίκο της ποσότητας κίνησης προς το ορισμένο χρονικό διάστημα στο οποίο πραγματοποιήθηκε η κίνηση [1].

Στην θεωρία της τηλεφωνικής κίνησης ως μονάδα χρόνου θεωρείται η περίοδος των 60 λεπτών. Έτσι, η ροή κίνησης μπορεί να εκφραστεί με δύο τρόπους: συναρτήσεως του ρυθμού άφιξης των κλήσεων (αριθμός κλήσεων ανά μονάδα χρόνου) αλλά και συναρτήσεως της μέσης χρονικής διάρκειας της κάθε κλήσης (χρόνος ανά μονάδα κλήσης). Η ροή κίνησης συμβολίζεται με το γράμμα  $E$  και δίνεται από τον τύπο:

$$E = \lambda \cdot t_h \quad (3.1)$$

όπου  $\lambda$  είναι ο ρυθμός άφιξης των κλήσεων εκφρασμένη σε calls/hours,  $t_h$  η μέση χρονική διάρκεια της κλήσης εκφρασμένη σε hours/calls ενώ η  $E$  είναι μια αδιάστατη ποσότητα η οποία εκφράζεται σε Erlangs.

Η ροή τηλεφωνικής κίνησης αλλάζει από εποχή σε εποχή κατά τη διάρκεια ενός έτους, από ημέρα σε ημέρα κατά τη διάρκεια μιας εβδομάδας και ακόμα κατά τη διάρκεια μιας ημέρας.

Στην τελευταία αυτή περίπτωση υπάρχουν αρκετά μεγάλες διακυμάνσεις της τηλεφωνικής κίνησης. Υπό κανονικές συνθήκες, είναι ελάχιστη τις νυκτερινές ώρες ενώ παρουσιάζεται αυξημένη τις μεσημβρινές ώρες [1], [2].

### 3.3 Συγκέντρωση και Βαθμός εξυπηρέτησης (Trunking and Grade of Service)

Τα κυψελοειδή κινητά συστήματα σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε οι κλήσεις που πραγματοποιούνται να μην χάνονται ή να μην καθυστερούν. Δυστυχώς, όμως, αυτό δεν είναι πάντα εφικτό. Για να επιτευχθεί επιβάλλεται το ίδιο το σύστημα να εξασφαλίζει τόσα κανάλια όσος είναι ο συνολικός αριθμός των κινητών μονάδων. Επειδή, προφανώς, για οικονομικούς λόγους ο αριθμός των καναλιών είναι περιορισμένος, κάποιες κλήσεις πιθανώς να μην πραγματοποιηθούν λόγω εμπλοκής. Συνεπώς, προκειμένου να περιοριστεί σε έναν εφικτό αριθμό το πλήθος των καναλιών, εισάγεται στο σύστημα ένας βαθμός συγκέντρωσης.

Ο ρόλος της *συγκέντρωσης (trunking)* μέσα στο σύστημα είναι να επιτρέπει σε πολλούς χρήστες να χρησιμοποιούν ταυτόχρονα τα σχετικά λίγα κανάλια που ανατίθεται σε μια κυψέλη. Με τον τρόπο αυτό, ύστερα από αίτηση του κάθε χρήστη, το σύστημα εκχωρεί σε αυτόν ένα κανάλι πρόσβασης μέσα από ένα σύνολο διαθέσιμων καναλιών. Στα κυψελοειδή ασύρματα συστήματα κινητών επικοινωνιών με συγκέντρωση, όταν κάποιος χρήστης ζητήσει να κάνει κλήση και όλα τα κανάλια είναι κατειλημμένα, η κλήση δεν πραγματοποιείται [3].

Ο *βαθμός εξυπηρέτησης (GOS - Grade of Service)* είναι το μέτρο που υπολογίζει τη δυνατότητα πρόσβασης κάποιου χρήστη σε ένα σύστημα με συγκέντρωση, κατά την ώρα αιχμής. Ορίζεται ως ο λόγος του αριθμού των ανεπιτυχών κλήσεων προς το συνολικό αριθμό των κλήσεων που πραγματοποιούνται. Ο βαθμός εξυπηρέτησης προσδιορίζει την πιθανότητα κάποιος χρήστης να αποκτήσει κανάλι πρόσβασης, έχοντας ως δεδομένο τον αριθμό των καναλιών που είναι διαθέσιμα στο σύστημα [3], [6]. Επίσης, ως GOS συνήθως θεωρείται η πιθανότητα μια κλήση να αποκοπεί ή η πιθανότητα μια κλήση να καθυστερήσει περισσότερο από το χρονικό διάστημα που είχε υπολογιστεί εξ αρχής. Στην πράξη ο όρος αυτός χαρακτηρίζει το σύστημα τη μέγιστη ώρα αιχμής. Η σχεδίαση των κυψελοειδών συστημάτων βασίζεται συνήθως σε  $GOS = 0.02$  ή και καλύτερο [2].

Η απόδοση συγκέντρωσης (*trunking efficiency*) είναι το μέτρο που υπολογίζει σε πόσους χρήστες μπορεί να προσφερθεί ένας συγκεκριμένος βαθμός εξυπηρέτησης, θεωρώντας δεδομένη τη διάταξη των καναλιών [3].

### 3.4 Ώρες αιχμής (Busy Hours)

Πρωταρχικός στόχος ενός κυψελοειδούς κινητού συστήματος επικοινωνίας είναι η εξυπηρέτηση των χρηστών του με ένα δεδομένο βαθμό εξυπηρέτησης, ακόμη και κατά τη διάρκεια των ωρών αιχμής. Ως *ώρα αιχμής* (*Busy Hour*) ορίζεται η περίοδος της μιας ώρας κατά τη διάρκεια μιας ημέρας όπου η ροή κίνησης είναι η μεγαλύτερη, όπως αυτή προκύπτει από τον μέσο όρο αρκετών εργάσιμων ημερών. Από διάφορες στατιστικές μετρήσεις έχει βρεθεί ότι στα περισσότερα κυψελοειδή συστήματα η ροή κίνησης είναι πιο μεγάλη μεταξύ 14:00 ως 15:00. Συνεπώς, αυτές θεωρούνται και οι ώρες αιχμής. Σημειώνεται ότι κατά τη διάρκεια της μέγιστης ώρας αιχμής προσδιορίζονται τα μεγέθη τα οποία χαρακτηρίζουν ένα σύστημα, όπως είναι η ροή κίνησης [2], [6].

### 3.5 Μονάδες ροής κίνησης

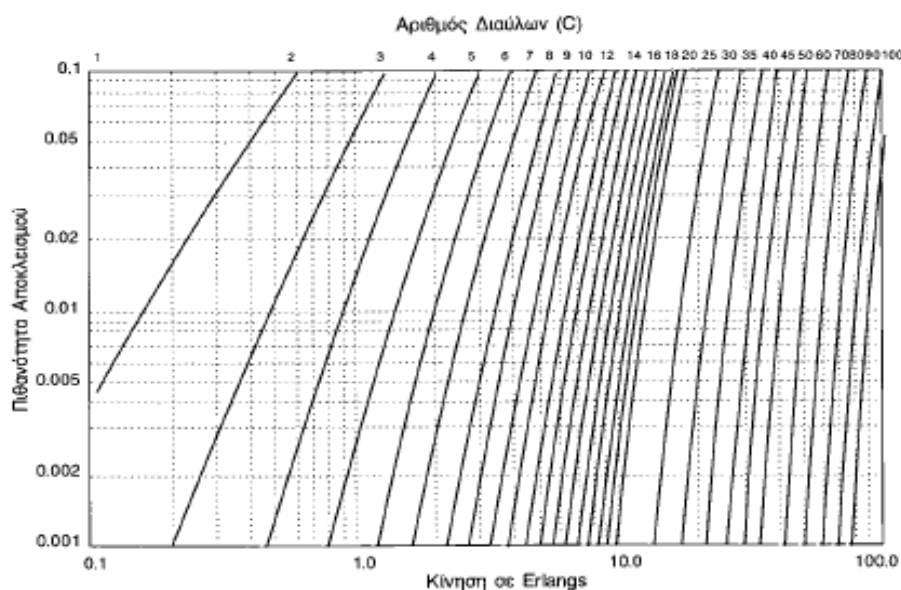
Για τη μέτρηση της ροής κίνησης υπάρχουν 2 μονάδες: η ροή εκφρασμένη σε Erlangs, και η ροή εκφρασμένη σε *UC (unit calls)* ή αλλιώς Hundred Calls Seconds (HCS) per hour. Ένα Erlang αντιπροσωπεύει ένα κανάλι το οποίο δεσμεύεται για 60 λεπτά, ενώ ένα HCS αντιπροσωπεύει ένα κανάλι το οποίο δεσμεύεται για 100 δευτερόλεπτα. Η σχέση μεταξύ τους είναι: 1 Erlang = 36 HCS.

Το *Erlang* ως αδιάστατη μονάδα χρησιμοποιείται στην τηλεφωνία και αποτελεί στατιστικό μέτρο της ποσότητας της τηλεπικοινωνιακής κίνησης. Ονομάστηκε έτσι προς τιμή του Δανού Agner Krarup Erlang (1878 - 1929) ο οποίος θεωρείται ο θεμελιωτής της θεωρίας της κίνησης. Η κίνηση που εκφράζεται σε Erlangs χρησιμοποιείται για να υπολογίσει το βαθμό εξυπηρέτησης (GOS) ή την ποιότητα της εξυπηρέτησης (QoS) [4]. Ένας εξυπηρετητής μεταφέρει κίνηση 1Erlang, όταν είναι συνεχώς κατειλημμένος. Δύο εξυπηρετητές που είναι κατειλημμένοι κατά  $\frac{1}{4}$  και  $\frac{3}{4}$  του χρόνου αντίστοιχα, μεταφέρουν συνολικά κίνηση 1Erlang [6], [8].

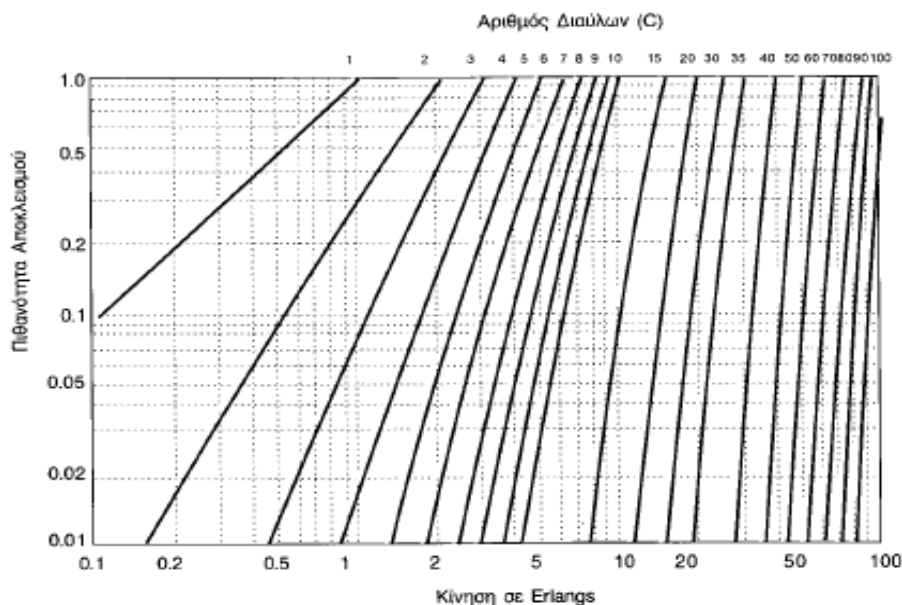
### 3.6 Υπολογισμός του επικοινωνιακού φορτίου

Τα κυψελοειδή κινητά συστήματα για να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις και στις ανάγκες της τηλεπικοινωνιακής κίνησης, απαιτούν να υπολογιστεί ο ρυθμός (συχνότητα) με τον οποίο ο συνδρομητής χρησιμοποιεί το σύστημα. Η χρήση του συστήματος από τον χρήστη, καθορίζεται από τον μέσο αριθμό των κλήσεων που πραγματοποιεί ο χρήστης σε χρονική διάρκεια μιας ημέρας, τη μέση χρονική διάρκεια της κάθε κλήσης και τον αριθμό των κλήσεων που πραγματοποιεί ο χρήστης την ώρα αιχμής.

Για τον υπολογισμό του *ολικού επικοινωνιακού φορτίου* μιας κυψέλης, το μέσο φορτίο των συνδρομητών πολλαπλασιάζεται με τον αριθμό των συνδρομητών της κυψέλης. Για παράδειγμα αν ένας χρήστης πραγματοποιεί κατά μέσο όρο 6 κλήσεις την ημέρα, η μέση χρονική διάρκεια της κάθε κλήσης του είναι 120 δευτερόλεπτα και το 1/8 των κλήσεων αυτών πραγματοποιούνται την ώρα αιχμής, τότε το επικοινωνιακό φορτίο του χρήστη υπολογίζεται ως εξής:  $6 \times 120/3600 \times 1/8 = 0.025$  Erlangs. Το φορτίο αυτό αντιπροσωπεύει το επί τοις εκατό του χρόνου όπου ο χρήστης χρησιμοποιεί το σύστημα την ώρα αιχμής.



Σχήμα 3.1: Πιθανότητα εμπλοκής για σύστημα Erlang B [3]



Σχήμα 3.2: Πιθανότητα εμπλοκής για σύστημα Erlang C [3]

Πρέπει να σημειωθεί ότι όταν είναι γνωστό το ολικό φορτίο μιας κυψέλης, τότε με τη χρήση κατάλληλων μεθόδων καθορίζεται ο αριθμός των καναλιών που απαιτούνται για την κυψέλη αυτή. Οι μέθοδοι αυτοί είναι:

- *Μέθοδος Blocked Calls Cleared - BCC*: Η μέθοδος αυτή είναι γνωστή και σαν μέθοδος Erlang B. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, οι καλούντες θα σταματήσουν την προσπάθεια για επικοινωνία όταν λάβουν ένα ειδικό σήμα το οποίο τους πληροφορεί ότι τα κανάλια είναι απασχολημένα.
- *Μέθοδος Blocked Calls Delays - BCD*: Η μέθοδος αυτή είναι γνωστή και σαν μέθοδος Erlang C. Σύμφωνα με την μέθοδο αυτή, οι καλούντες θα πρέπει να περιμένουν θεωρητικά απεριόριστο χρόνο, προκειμένου να λάβουν το αντίστοιχο σήμα για να σταματήσουν την προσπάθεια για επικοινωνία.
- *Μέθοδος Blocked Calls Held - BCH*: Η μέθοδος αυτή είναι γνωστή και σαν μέθοδος Poisson. Βασίζεται στη παραδοχή ότι οι καλούντες δεν περιμένουν για την αποκατάσταση της επικοινωνίας περισσότερο χρόνο από τη μέση τιμή της διάρκειας της κλήσης [2], [7].

Το Σχήμα 3.1 [3] απεικονίζει την πιθανότητα εμπλοκής για ένα σύστημα Erlang B σε συνάρτηση με τον αριθμό καναλιών και την προσφερόμενη κίνησης, ενώ το Σχήμα 3.2 [3] απεικονίζει την πιθανότητα εμπλοκής για ένα σύστημα Erlang C [3].

### 3.7 Φασματική αποδοτικότητα (Spectral Efficiency)

Η φασματική αποδοτικότητα (*Spectral Efficiency*) ή η αποδοτικότητα φάσματος αναφέρεται στην ποσότητα της πληροφορίας που μπορεί να διαβιβαστεί μέσα από ένα δεδομένο εύρος ζώνης σε ένα συγκεκριμένο ψηφιακό σύστημα επικοινωνιών. Είναι ένα μέτρο που υπολογίζει την αποτελεσματικότητα χρήσης ενός περιορισμένου εύρους φάσματος συχνότητας [5], [9].

#### 3.7.1 Φασματική Αποδοτικότητα Ζεύξης (*Link Spectral Efficiency*)

Η φασματική αποδοτικότητα ζεύξης (*Link Spectral Efficiency*) μετριέται σε bit/s/Hz, και εκφράζει τη μέγιστη ρυθμοαπόδοση μιας ζεύξης για μια δεδομένη μέθοδο διαμόρφωσης. Μια τεχνική μετάδοσης που χρησιμοποιεί ένα kilohertz του εύρους ζώνης για να διαβιβάσει 1000 bit/sec έχει φασματική αποδοτικότητα 1 bit/sec/Hz.

#### 3.7.2 Φασματική Αποδοτικότητα Συστημάτων (*System Spectral Efficiency*)

Στα ασύρματα δίκτυα, η φασματική αποδοτικότητα συστημάτων (*System Spectral Efficiency*) εκφράζεται σε bit/sec/Hz/area, bit/sec/Hz/cell ή bit/sec/Hz/site. Είναι ένα μέτρο υπολογισμού της ποσότητας των χρηστών ή των υπηρεσιών που μπορεί να υποστηριχθεί ταυτόχρονα από ένα περιορισμένο εύρος ζώνης ραδιοσυχνοτήτων σε μια καθορισμένη γεωγραφική περιοχή.

Η ικανότητα ενός κυψελοειδούς δικτύου μπορεί επίσης να θεωρηθεί ως ο μέγιστος αριθμός ταυτόχρονων τηλεφωνημάτων και εκφράζεται σε Erlangs/MHz/cell, Erlangs/MHz/sector, Erlangs/MHz/site ή Erlangs/MHz/km<sup>2</sup>. Η ποσότητα επηρεάζεται επίσης από το σχήμα κωδικοποίησης της πηγής που χρησιμοποιείται.

### Αναφορές στη Βιβλιογραφία

- [1] J. D. Gibson, The Communications Handbook, 2nd Edition, CRC Press, 1999.
- [2] Χ. Σανδαλίδης, Διαφάνειες Μαθήματος «Ασύρματα Επικοινωνιακά Συστήματα», Τμήμα Πληροφορικής με Εφαρμογές στη Βιοϊατρική, Πανεπιστήμιο Στερεάς Ελλάδας, 2010.



- [3] Μ. Ε. Θεολόγου, Δίκτυα Κινητών & Προσωπικών Επικοινωνιών, Εκδόσεις Τζιόλα, 2007.
- [4] Erlang Unit, Wikipedia site. Internet. [Online]. Available: [http://en.wikipedia.org/wiki/Erlang\\_unit](http://en.wikipedia.org/wiki/Erlang_unit)
- [5] Spectral Efficiency, Wikipedia site. Internet. [Online]. Available: [http://en.wikipedia.org/wiki/Spectral\\_efficiency#System\\_spectral\\_efficiency](http://en.wikipedia.org/wiki/Spectral_efficiency#System_spectral_efficiency)
- [6] Α. Κανατάς, Φ. Κωνσταντίνου και Γ. Πάντος, Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 2008.
- [7] Th. S. Rappaport, Ασύρματες Επικοινωνίες – Αρχές και Πρακτική, 2<sup>η</sup> Έκδοση, Εκδόσεις Γκιούρδας, 2006 (μεταφρασμένο).
- [8] Erlang Unit, Wikipedia site. Internet. [Online]. Available: [http://en.wikipedia.org/wiki/Erlang\\_unit](http://en.wikipedia.org/wiki/Erlang_unit)
- [9] Spectral Efficiency, Wikipedia site. Internet. [Online]. Available: [http://en.wikipedia.org/wiki/Spectral\\_efficiency#System\\_spectral\\_efficiency](http://en.wikipedia.org/wiki/Spectral_efficiency#System_spectral_efficiency)

# 4

## Μέθοδοι ανάθεσης καναλιών

### 4.1 Τι είναι ανάθεση καναλιών

Τα κυψελοειδή κινητά συστήματα είναι απαραίτητο να εξυπηρετούν όσο το δυνατό μεγαλύτερο αριθμό κλήσεων, ανεξάρτητα από το γεγονός ότι ο αριθμός των καναλιών ανά κυψέλη είναι περιορισμένος. Η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης των καναλιών αναφέρεται ως το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της κυψελοειδούς αρχιτεκτονικής. Τα κανάλια τα οποία χρησιμοποιεί μια κυψέλη έχουν το χαρακτηριστικό ότι μπορούν να ξαναχρησιμοποιηθούν και σε άλλες. Έτσι, με τον τρόπο αυτό, αυξάνεται η χωρητικότητα του συστήματος. Εν τούτοις, όπως τονίστηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, για να χρησιμοποιηθούν τα ίδια κανάλια σε δυο διαφορετικές κυψέλες πρέπει η απόσταση μεταξύ τους να είναι τέτοια ώστε η ομοκαναλική παρεμβολή να θεωρείται αμελητέα, ανάλογα πάντα με τις προδιαγραφές του συστήματος. Οι κυψέλες οι οποίες απέχουν μεταξύ τους απόσταση μικρότερη από την παραπάνω δεν μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα ίδια κανάλια και στη συνέχεια ομαδοποιούνται σε σύνολα. Η εν λόγω διαδικασία της κατανομής ή ανάθεσης των καναλιών (channel assignment) που καθορίζει ποια κανάλια μπορούν να χρησιμοποιηθούν από μια κυψέλη, είναι πολύ σημαντική τόσο για τη λειτουργία των κυψελοειδών συστημάτων όσο και για την αξιοπιστία τους σε ότι αφορά την εξυπηρέτηση των κλήσεων [10], [11], [12], [13].

Σύμφωνα με τα παραπάνω, το πρόβλημα της κατανομής καναλιών έχει σαν κύριο και γενικό στόχο σε κάθε σταθμό βάσης να καθοριστούν ένα ή περισσότερα κανάλια τα οποία λαμβάνονται από το περιορισμένο διαθέσιμο ραδιοφάσμα με τρόπο τέτοιο ώστε να ικανοποιείται ένα σύνολο περιορισμών. Οι περιορισμοί αυτοί μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες ως εξής [1]:

1. Ο *περιορισμός συχνοτήτων (frequency constraint)* καθορίζει τον αριθμό των διαθέσιμων συχνοτήτων (καναλιών) στο ραδιοφάσμα. Ο περιορισμός αυτός επιβάλλεται από τους εθνικούς και διεθνείς κανονισμούς.
2. Οι *περιορισμοί κίνησης (traffic constraints)* καθορίζουν τον ελάχιστο αριθμό καναλιών που απαιτούνται από κάθε σταθμό βάσης για να εξυπηρετήσουν τις επικοινωνίες μέσα στη γεωγραφική περιοχή του. Αυτοί οι περιορισμοί καθορίζονται εμπειρικά από τους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους.
3. Οι *περιορισμοί παρεμβολής (interference constraints)* οι οποίοι ταξινομούνται ως:
  - Ο *ομοκαναλικός περιορισμός (cochannel constraint)*: το ίδιο κανάλι δεν μπορεί να ανατεθεί ταυτόχρονα σε ορισμένες κυψέλες.
  - Η *παρεμβολή γειτονικού καναλιού (adjacent channel constraint)*: οι γειτονικές συχνότητες στο πεδίο συχνοτήτων δεν μπορούν να οριστούν ταυτόχρονα σε γειτονικές κυψέλες
  - (*co-site constraint*): οποιοδήποτε ζευγάρι των καναλιών που ορίζεται σε μια κυψέλη πρέπει να απέχει ορισμένη απόσταση στο φάσμα συχνοτήτων.

Ο πιο αυστηρός περιορισμός, από τους παραπάνω, αφορά τον περιορισμένο αριθμό των διαθέσιμων συχνοτήτων. Η *ανάθεση καναλιών* μπορεί να διατυπωθεί σαν ένα συνδυαστικό πρόβλημα βελτιστοποίησης το οποίο υποκύπτει στους παραπάνω περιορισμούς και στη ροή της τηλεφωνικής κίνησης. Στην περίπτωση που λαμβάνονται υπόψη οι περιορισμοί παρεμβολής, η κατανομή καναλιών ισοδυναμεί με ένα πρόβλημα χρωματισμού γραφικών παραστάσεων. Το συγκεκριμένο πρόβλημα ανήκει στην κατηγορία προβλημάτων βελτιστοποίησης γνωστών ως *non-deterministic polynomial complete (NP-complete)* και αυτό συνεπάγεται ακόμη μεγαλύτερη αύξηση της δυσκολίας εύρεσης γρήγορων και αξιόπιστων μεθόδων κατανομής.

Οι στρατηγικές κατανομής καναλιών ταξινομούνται κυρίως σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τη στατική και τη δυναμική. Στη στατική ανάθεση καναλιών (*Fixed Channel Assignment -FCA*), τα κανάλια ανατίθενται εκ των προτέρων στις κυψέλες, σύμφωνα με την υπάρχουσα κατ' εκτίμηση της ποσότητας τηλεφωνικής κίνησης. Από την άλλη μεριά, στο δυναμικό σχήμα ανάθεσης καναλιών (*Dynamic Channel Assignment -DCA*), η κατανομή εξαρτάται από τη

ζήτηση της τηλεφωνικής κίνησης και επομένως τα κανάλια που χρησιμοποιούνται από μια κυψέλη ποικίλλουν δυναμικά.

Διάφορες τροποποιήσεις και επεκτάσεις των δύο αυτών στρατηγικών κατανομής έχουν προταθεί, εξασφαλίζοντας τη βέλτιστη χρησιμοποίηση του διαθέσιμου φάσματος. Ως δύο καλοί συνδυασμοί αυτών είναι τα υβριδικά σχέδια και τα σχέδια δανεισμού. Η αξιολόγησή τους γίνεται συνήθως χρησιμοποιώντας διάφορα κριτήρια επίδοσης με βάση εκτεταμένες προσομοιώσεις σε μοντέλα κυψελοειδών συστημάτων.

## 4.2 Στατική ανάθεση καναλιών (Fixed Channel Assignment-FCA)

Στην στατική ανάθεση καναλιών σε κάθε κυψέλη ανατίθεται για αποκλειστική χρήση ένας σταθερός αριθμός καναλιών. Τα κανάλια ανατίθενται στις κυψέλες εξ αρχής κατά το σχεδιασμό του συστήματος. Στο σχήμα αυτό ο αριθμός των καναλιών κάθε συστάδας είναι ίσος με τον συνολικό αριθμό καναλιών του συστήματος. Στην περίπτωση που όλα τα κανάλια είναι κατειλημμένα μια νέα κλήση που επιδιώκει να πραγματοποιηθεί θα απορριφθεί. Οι πιθανότητες απόρριψης των κλήσεων είναι δυνατόν να μειωθούν αν χρησιμοποιηθούν διάφορα σχήματα δανεισμού καναλιών από γειτονικές κυψέλες. Κατά τη διάρκεια της ανάθεσης καναλιού, όλες οι υπόλοιπες κυψέλες του συστήματος δεν μπορούν να χρησιμοποιήσουν το ίδιο αυτό κανάλι.

Στην απλή στρατηγική FCA σε κάθε κυψέλη διατίθεται ο ίδιος αριθμός καναλιών. Αυτή η ομοιόμορφη κατανομή είναι αποδοτική εάν η κατανομή κίνησης στο σύστημα είναι επίσης ομοιόμορφη. Στην περίπτωση αυτή η μέση πιθανότητα εμπλοκής του συστήματος είναι ίδια με την πιθανότητα εμπλοκής της κλήσης σε μια κυψέλη. Δεδομένου ότι η κίνηση στα κυψελοειδή συστήματα μπορεί να είναι ανομοιόμορφη συνεπάγεται ότι μερικές κυψέλες ενδεχομένως να έχουν υποστεί εμπλοκή ενώ άλλες να έχουν έναν αρκετά μεγάλο αριθμό ελεύθερων καναλιών. Όπως είναι αναμενόμενο αυτό οδηγεί οπωσδήποτε σε μη αποδοτική επαναχρησιμοποίηση καναλιών.

Η στατική ανάθεση είναι ένα σχήμα αρκετά απλό στο σχεδιασμό που όμως δεν χρησιμοποιεί στο μέγιστο τις δυνατότητες του συστήματος, αφού η κατανομή της κίνησης στις κυψέλες αλλάζει σε γενικές γραμμές δυναμικά με το χρόνο. Έτσι, κάθε κυψέλη εξυπηρετεί έναν πεπερασμένο αριθμό χρηστών και η επιλογή της μεθόδου αυτής οδηγεί σε μη ικανοποιητική

χρήση του διαθέσιμου φάσματος συχνοτήτων του κυψελοειδούς συστήματος. Το κλασσικό αυτό σχήμα είναι ευαίσθητο στις χρονικές και χωρικές μεταβολές της κίνησης και ως εκ τούτου δεν είναι ικανό να προσφέρει υψηλό βαθμό απόδοσης. Στην πραγματικότητα το μέγιστο πλεονέκτημα της FCA είναι ο μικρός χρόνος εξυπηρέτησης των κλήσεων.

Ένα κυψελοειδές σύστημα μπορεί να περιγραφεί από μια γραφική παράσταση όπου οι κόμβοι αντιστοιχούν στις κυψέλες. Το βάρος των ακμών (0.1.2) αντιπροσωπεύει την απόσταση που πρέπει να κρατήσουν μεταξύ τους οι συχνότητες που αντιστοιχούν στις κυψέλες ώστε να αποτραπεί η παρεμβολή. Συνεπώς, η στατική ανάθεση καναλιού μπορεί να αντιμετωπιστεί ως πρόβλημα χρωματισμού γράφων, όπου το κύριο μέλημα είναι να οριστούν τα χρώματα (συχνότητες) στους κόμβους έτσι ώστε η απόλυτη διαφορά μεταξύ των χρωμάτων οποιουδήποτε ζευγαριού των κόμβων να είναι το βάρος της ακμής που τους ενώνει.

Οι περιορισμοί παρεμβολής σε ένα σύστημα κυψελών περιγράφονται συνήθως από έναν  $N \times N$  συμμετρικό πίνακα που καλείται μήτρα συμβατότητας  $C$ . Η μήτρα συμβατότητας είναι ένας πίνακας του οποίου τα στοιχεία δίνουν την απόσταση που πρέπει να υπάρχει μεταξύ των καναλιών που αντιστοιχούν στη γραμμή κυψελών και της στήλης κυψελών. Αυτή η απόσταση αντιπροσωπεύεται από έναν φυσικό αριθμό με τις τιμές 0, 1, 2, κτλ. Η γενική μορφή μιας  $N \times N$  μήτρας συμβατότητας  $C$  έχει ως εξής:

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots \\ c_{21} & c_{22} & \dots \\ \vdots & & \\ c_{N1} & c_{N2} & \dots & c_{NN} \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

Τα στοιχεία της μήτρας συμβατότητας μπορούν να πάρουν μόνο έναν πολύ περιορισμένο αριθμό τιμών, ανάλογα με τους περιορισμούς συμβατότητας που εξετάζονται στο συγκεκριμένο πρόβλημα.

Η αποδοτικότητα της στατικής ανάθεσης μειώνεται σε συνθήκες υψηλής κίνησης και η χρήση των καναλιών περιορίζεται σημαντικά. Το πρόβλημα μπορεί να αντιμετωπιστεί με τη χρήση μιας υβριδικής τεχνικής, όπου τα κανάλια σε κάθε κυψέλη χωρίζονται σε δύο ομάδες: σε εκείνη που τα κανάλια ανήκουν αποκλειστικά στην κυψέλη και σε εκείνη που τα κανάλια είναι διαθέσιμα προς δανεισμό. Υπάρχουν αρκετές παραλλαγές της τεχνικής αυτής και ο

λόγος του αριθμού των καναλιών μπορεί να μεταβάλλεται δυναμικά ανάλογα με τις αλλαγές στην τηλεπικοινωνιακή κίνηση [2], [3], [9], [12].

### 4.3 Δυναμική ανάθεση καναλιών (Dynamic Channel Assignment-DCA)

Η δυναμική ανάθεση καναλιών λειτουργεί με τον ακριβώς αντίθετο τρόπο από την στατική ανάθεση. Στο σχήμα αυτό τα κανάλια ανατίθενται στις κυψέλες δυναμικά και η χρήση τους γίνεται μόνο για το χρονικό διάστημα που απαιτείται για την εξυπηρέτηση των κλήσεων. Κατά την διαδικασία της δυναμικής κατανομής καναλιών κάθε φορά που υποβάλλεται ένα αίτημα κλήσης ο σταθμός βάσης ζητά από το MTSO ένα κανάλι. Συνεπώς, μεταξύ καναλιών και κυψελών δεν υπάρχει καμία σταθερή σχέση. Οποιαδήποτε κυψέλη μπορεί να χρησιμοποιήσει οποιοδήποτε κανάλι, το οποίο βέβαια δεν παραβιάζει τους περιορισμούς παρεμβολής. Η επιλογή ενός καναλιού μπορεί να γίνει τυχαία ή να εξαρτηθεί από παράγοντες που το DCA προσπαθεί να ελαχιστοποιήσει. Έτσι, κάθε κυψέλη μπορεί να χρησιμοποιεί πολύ περισσότερα κανάλια από όσα χρησιμοποιεί στην FCA. Αυτή η μέθοδος οδηγεί σε αύξηση της αποδοτικότητας του συστήματος, ιδιαίτερα αν η κατανομή της κίνησης είναι μη ομοιόμορφη ή μεταβάλλεται διαρκώς με το χρόνο [2].

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα του DCA είναι η επανακατανομή καναλιών (*channel reassignment*) που βελτιώνει το βαθμό εξυπηρέτησης του συστήματος ακόμη περισσότερο. Ο βασικός στόχος της νέας ανάθεσης καναλιών είναι να μεταφερθούν οι κλήσεις, όποτε είναι δυνατόν, από τα κανάλια που ήδη τις εξυπηρετούν σε άλλα κανάλια. Χρησιμοποιώντας αυτήν την αρχή, βελτιώνεται η απόδοση της DCA μεθόδου ακόμη περισσότερο.

Ο σχεδιασμός αλγορίθμων δυναμικής κατανομής είναι αρκετά πολύπλοκος αφού απαιτείται πολύ μεγαλύτερη γνώση για τον έλεγχο της κατάστασης του συστήματος. Έτσι, το κόστος της υλοποίησης συστημάτων με δυναμική ανάθεση καναλιών είναι αρκετά υψηλό. Ανάλογα με τον τύπο ελέγχου του συστήματος που χρησιμοποιείται, τα σχήματα DCA διαιρούνται περαιτέρω σε συγκεντρωτικά και κατακευματισμένα σχέδια. Ένα *συγκεντρωτικό DCA* (*centralized DCA*) περιλαμβάνει έναν ενιαίο ελεγκτή ο οποίος επιλέγει ένα κανάλι για κάθε κυψέλη και οδηγεί σε μια αποδοτικότερη κατανομή από ότι κατακευματισμένα σχέδια DCA. Ένα *κατακευματισμένο DCA* (*distributed DCA*) περιλαμβάνει διάφορους ελεγκτές που έχουν μερικό έλεγχο του συστήματος και επιλέγουν τα κανάλια ενώ κάθε σταθμός βάσης κρατά τις

πληροφορίες για τα τρέχοντα διαθέσιμα κανάλια. Στον πίνακα 4.1 παρουσιάζονται μερικά σχήματα δυναμικών κατανομών.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΣΧΗΜΑ
Central DCA	First Available Locally Optimized Dynamic Assignment Mean Square Nearest Neighbour
Distributed DCA	Locally Packing Moving Direction
C/I measurement based DCA	Dynamic Channel Selection Channel Segregation

Πίνακας 4.1: Κατηγορίες Σχημάτων DCA

Έχουν εμφανιστεί πολλές παραλλαγές της τεχνικής DCA και καταβάλλονται προσπάθειες ώστε τα αποδοτικότερα σχέδια εξ αυτών να εισαχθούν στα πραγματικά συστήματα. Κάποιες αποδοτικές στρατηγικές είναι η FA (First Available), η maximum packing DCA (MP-DCA), η channel segregation (CS), η dynamic resource acquisition (DRA), η compact pattern DCA και η locally optimised dynamic assignment (LODA). Η τελευταία παρουσιάστηκε από τους Zhang και Yum. Σε αυτήν την παραλλαγή DCA, κάθε κλήση εξυπηρετείται από εκείνο το κανάλι που βελτιώνει ολόκληρη την απόδοση και μειώνει το κόστος. Το κόστος είναι σε αυτήν την περίπτωση ένα μέτρο που επηρεάζει την μελλοντική πιθανότητα εμπλοκής κοντά στην κυσέλη όπου αρχίζει μια κλήση και την οποία το σύστημα προσπαθεί να ελαχιστοποιήσει [3], [4], [8].

#### 4.3.1 Σύγκριση μεταξύ FCA και DCA

Είναι προφανές ότι η στατική και η δυναμική ανάθεση καναλιών επιφέρουν αντίθετα αποτελέσματα σε ότι αφορά την ποιότητα των υπηρεσιών, την πολυπλοκότητα εφαρμογής των αλγορίθμων κατανομής, και την αποτελεσματικότητα χρησιμοποίησης του φάσματος.

Τα αποτελέσματα ανάλυσης προσομοιώσεων που διεξήχθησαν σε πολλά συστήματα δείχνουν ότι κάτω από χαμηλή κίνηση, οι στρατηγικές DCA εκτελούνται καλύτερα. Εντούτοις, τα

σχήματα FCA γίνονται ανώτερα σε υψηλή κίνηση, ειδικά στην περίπτωση της ομοιόμορφης κίνησης. Στην περίπτωση της ανομοιόμορφης κίνησης θεωρείται ότι το σχήμα της δυναμικής κατανομής αποδίδει καλύτερα, εφόσον χρησιμοποιεί τα κανάλια αποτελεσματικότερα από την στατική κατανομή.

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει μερικές από τις βασικές διαφορές μεταξύ των σχημάτων FCA και DCA [2].

FCA	DCA
Αποδίδει καλύτερα κάτω από στατική υψηλή κίνηση	Αποδίδει καλύτερα κάτω από χαμηλή και μέτρια κίνηση
Χαμηλή ευελιξία στην ανάθεση καναλιών	Ευέλικτη ανάθεση καναλιών
Μέγιστη ικανότητα επαναχρησιμοποίησης καναλιών	Όχι πάντα καλή ικανότητα επαναχρησιμοποίησης καναλιών
Ευαίσθητο στο χρόνο και τις χωρικές αλλαγές	Όχι ευαίσθητο στο χρόνο και τις χωρικές αλλαγές
Χαμηλή υπολογιστική ικανότητα	Υψηλή υπολογιστική ικανότητα
Χαμηλή πολυπλοκότητα	Υψηλή πολυπλοκότητα

Πίνακας 4.2: Βασικές διαφορές σχημάτων FCA και DCA

#### 4.4 Υβριδική ανάθεση καναλιών (Hybrid Channel Assignment-HCA)

Σύμφωνα με τα βασικά χαρακτηριστικά της στατικής ανάθεσης καναλιών (FCA) και της δυναμικής ανάθεσης καναλιών (DCA) γίνεται αντιληπτό ότι στα σημεία που πλεονεκτεί το ένα σχήμα μειονεκτεί το άλλο και αντίστροφα. Στις αρχές του 1980 παρουσιάστηκε μια προσπάθεια για να συνδυαστούν οι δυο αυτές τεχνικές. Το νέο σχήμα που προέκυψε ονομάστηκε υβριδική ανάθεση καναλιών και αποτελεί ένα συνδυασμό των δύο παραπάνω σχημάτων.

Στην HCA το σύνολο των καναλιών  $T$  του κυψελοειδούς συστήματος διαιρείται σε δυο υποσύνολα  $A$  και  $B$ , τα οποία δεν περιέχουν οπωσδήποτε τον ίδιο αριθμό καναλιών. Το υποσύνολο  $A$  περιέχει κανάλια τα οποία χρησιμοποιούνται από τις κυψέλες με στατική



ανάθεση ενώ το υποσύνολο  $B$  περιέχει κανάλια που χρησιμοποιούνται από οποιαδήποτε κυψέλη με δυναμική ανάθεση. Σε αυτή λοιπόν την κατανομή ορίζεται ο λόγος  $A$  προς  $B$ . Είναι προφανές ότι για διάφορες τιμές του λόγου αυτού, η απόδοση ως προς την πιθανότητα εμπλοκής είναι μεταξύ εκείνων της στατικής και της δυναμικής ανάθεσης [2], [5].

#### **4.5 Ευέλικτη ανάθεση καναλιών (Flexible Channel Assignment-FICA)**

Η κατανομή αυτή είναι ένα είδος στατικής κατανομής καναλιών όπου ανάλογα με τη ροή κίνησης αλλάζουν και τα κανάλια που χρησιμοποιεί η κάθε κυψέλη. Το σχήμα αυτό βελτιώνει την απόδοση του κλασσικού FCA.

Η χρήση της ευέλικτης στρατηγικής ανάθεσης απαιτεί από τον κεντρικό ελεγκτή να είναι ενημερωμένος για την τηλεπικοινωνιακή κίνηση ώστε να ρυθμιστεί η ανάθεση των καναλιών [2].

#### **4.6 Ανάθεση δανεισμού καναλιών (Borrowing Channel Assignment-BCA)**

Η ανάθεση δανεισμού καναλιών (BCA) είναι το απλούστερο σχήμα κατανομής που χρησιμοποιεί την έννοια του δανεισμού των καναλιών από άλλες κυψέλες. Στην BCA, τα κανάλια ανατίθενται στις κυψέλες με στατική κατανομή. Όταν τα κανάλια μιας κυψέλης είναι κατειλημμένα και πραγματοποιηθεί μια κλήση προς αυτή, τότε η κυψέλη δανείζεται κανάλια από τις γειτονικές κυψέλες και έτσι η κλήση δε διακόπτεται [1]. Τα κανάλια που δανείζονται σε μία κυψέλη ανήκουν στο σύνολο καναλιών της κυψέλης αυτής καθ' όλη τη διάρκεια της κλήσης. Όταν ένα κανάλι δανείζεται, οι υπόλοιπες κυψέλες δεν επιτρέπεται να χρησιμοποιήσουν το συγκεκριμένο αυτό κανάλι. Συνεπώς, ένας καλός κανόνας για να ελαχιστοποιηθεί η εμπλοκή των πιο πρόσφατων κλήσεων, είναι ο δανεισμός από την κυψέλη εκείνη με τα περισσότερα κανάλια. Το σχήμα αυτό παρουσιάζει μικρότερη πιθανότητα εμπλοκής συγκριτικά με την στατική ανάθεση και καλύτερη χρονική αποδοτικότητα σε σχέση με τη δυναμική ανάθεση καναλιών [6].

#### **4.7 Ανάθεση βίαιου δανεισμού καναλιών (Forcible Borrowing Channel Assignment-FBCA)**

Στη μέθοδο αυτή τα κανάλια ανατίθενται στις κυψέλες δυναμικά. Ας υποθέσουμε ότι χρειάζεται να δανειστούμε κάποιο κανάλι από μια κυψέλη, η επιλογή του οποίου καθορίζεται από το κινητό σύστημα και τυχαίνει να είναι η βέλτιστη από πλευράς παρεμβολής. Στην περίπτωση που το κανάλι αυτό είναι κατειλημμένο τότε ο δανεισμός γίνεται κανονικά και η κλήση που χρησιμοποιούσε το συγκεκριμένο κανάλι στη γειτονική κυψέλη ανατίθεται σε άλλο κανάλι ώστε να ολοκληρωθεί. Αυτή η επιλογή του καναλιού γίνεται με βάση την ελάχιστη απόσταση στην οποία δε συμβαίνει ομοκαναλική παρεμβολή. Το σύστημα αυτό δίνει καλύτερες λύσεις σε σχέση με τη μέθοδο BCA, γιατί ακριβώς επιτρέπει την on-line αλλαγή κατειλημμένων και μη καναλιών. Έτσι παίρνουμε πιο βελτιωμένα αποτελέσματα ιδίως σε περιβάλλοντα ανομοιόμορφης κατανομής κίνησης [7].

#### **4.8 Στατική και δυναμική ανάθεση καναλιών (Fixed and Dynamic Channel Assignment)**

Η στατική και δυναμική ανάθεση καναλιών είναι ένας συνδυασμός του FCA και του DCA που προσπαθεί να πετύχει το χαμηλότερο ποσοστό εμπλοκής κάθε τεχνικής ανάλογα με την ποσότητα κίνησης. Σε χαμηλή ποσότητα κίνησης, χρησιμοποιείται το σχήμα DCA, ενώ σε καταστάσεις υψηλής κίνησης χρησιμοποιείται η στρατηγική FCA. Τονίζεται ότι η μετάβαση από τη μια στρατηγική στην άλλη πρέπει να γίνεται βαθμιαία, για το λόγο ότι μια ξαφνική μετάβαση είναι πιθανό να προκαλέσει μεγαλύτερη εμπλοκή [2].

#### **Αναφορές στη Βιβλιογραφία**

- [1] Χ. Σανδαλίδης, Διαφάνειες Μαθήματος «Ασύρματα Επικοινωνιακά Συστήματα», Τμήμα Πληροφορικής με Εφαρμογές στη Βιοϊατρική, Πανεπιστήμιο Στερεάς Ελλάδας, 2010.

- [2] I. Katzela and M. Naghshineh, «Channel Assignment Schemes for Cellular Mobile Communications Systems: A Comprehensive Survey», IEEE Personal Communications, pp. 10-31, June 1996.
- [3] J. D. Gibson, The Mobile Communications Handbook, Second Edition, CRC Press, 1999.
- [4] P. M. Papazoglou, D. A. Karras, R. C. Papademetriou, «A dynamic channel assignment simulation system for large scale cellular telecommunications», 2007.
- [5] G. Vidyarthi, A. Ngom, and I. Stojmenovic', «A Hybrid Channel Assignment Approach Using an Efficient Evolutionary Strategy in Wireless Mobile Networks», IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 54, No. 5, pp. 1887-1895, September 2005.
- [6] H. G. Sandalidis, P. P. Stavroulakis and J. Rodriguez-Tellez, «Borrowing Channel Assignment Strategies Based on Heuristic Techniques for Cellular Systems», IEEE Transactions on Neural Networks, Vol. 10, No. 1, pp 176-181, January 1999.
- [7] K. Chang, J. Kim, C. Yim, and S. Kim, «An Efficient Borrowing Channel Assignment Scheme for Cellular Mobile Systems», IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 47, No. 2, May 1998.
- [8] H. Salgado, M. Sirbu, J. Peha, «Spectrum Sharing Through Dynamic Channel Assignment for Open Access to Personal Communications Services», IEEE Transactions on Intl. Communications Conference (ICC), pp. 417-22, June 1995.
- [9] K. L. Yeung, «Fixed Channel Assignment Optimization for Cellular Mobile Networks», IEICE Transactions on Communications, Vol. E83-B, No. 8, August 2000.
- [10] M. Sengoku, K. Nakano, Y. Yamaguchi, T. Abe and S. Shinoda, «Channel Assignment in a Cellular Mobile Communication System and an Application of Neural Networks», Electronics and Communications in Japan, Part 1, Vol. 75, No. 4, 1992
- [11] Α. Κανατάς, Φ. Κωνσταντίνου, Γ. Πάντος, Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 2008.
- [12] Th. S. Rappaport, Ασύρματες Επικοινωνίες - Αρχές και Πρακτική, 2η έκδοση, Εκδόσεις Γκιούρδας 2006 (μεταφρασμένο).
- [13] Μ. Ε. Θεολόγου, Δίκτυα Κινητών & Προσωπικών Επικοινωνιών, Εκδόσεις Τζιόλα, 2007.

# 5

## Προσομοίωση στατικής κατανομής

### 5.1 Είδη προσομοίωσης

Η *προσομοίωση (simulation)* είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται για την περιγραφή διαδικασιών ή συστημάτων με τη βοήθεια υπολογιστή. Διαδικασία ή σύστημα ονομάζεται ένα σύνολο στοιχείων τα οποία δρουν και αλληλεπιδρούν σύμφωνα με κάποιους κανόνες. Οι κανόνες αυτοί εκφράζονται με μαθηματικές ή λογικές σχέσεις, και αποτελούν το μοντέλο του συστήματος.

Ανάλογα με την υφή του προβλήματος που έχουμε να λύσουμε, τα μοντέλα προσομοίωσης διακρίνονται στις εξής κατηγορίες [1]:

*στατικά - δυναμικά:* Στατικό είναι το μοντέλο το οποίο δεν μεταβάλλεται με το χρόνο. Αντίθετα, δυναμικό είναι το μοντέλο του οποίου η κατάσταση είναι συνάρτηση του χρόνου.

*στοχαστικά - αιτιοκρατικά:* Αν η συμπεριφορά του συστήματος (μοντέλο) είναι συνάρτηση γνωστών παραμέτρων τότε είναι αιτιοκρατικό, διαφορετικά, αν οι παράμετροι εμφανίζουν τυχαίες μεταβολές τότε είναι στοχαστικό.

Τα δυναμικά μοντέλα προσομοίωσης ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο αντιμετωπίζουν το χρόνο, χωρίζονται επιπλέον σε *time driven* και *event driven*. Στα *time driven* συστήματα εν πρώτοις αρχικοποιούμε το χρόνο προσομοίωσης και στη συνέχεια τον αυξάνουμε ανά μικρά σταθερά διαστήματα. Σε κάθε διάστημα παρατηρούμε τα γεγονότα που συμβαίνουν και ενημερώνουμε το σύστημα. Αντίθετα τα *event driven* μοντέλα λειτουργούν με βάση τα γεγονότα. Όπως μπορεί να γίνει κατανοητό, τα *time driven* μοντέλα είναι εν γένει καλύτερα όταν υπάρχει η δυνατότητα εύρεσης του χρονικού ποσού αύξησης, το οποίο να είναι αρκετά

μικρό έτσι ώστε να μην θεωρούνται κάποια γεγονότα ως συνεχή και αρκετά μεγάλο για να συμβαίνει ένα τουλάχιστον γεγονός στο διάστημα αυτό. Αν αυτό δεν είναι εφικτό, τότε προτιμούνται τα event driven μοντέλα, στα οποία τα γεγονότα δεν συμβαίνουν σε σταθερά χρονικά διαστήματα, τα οποία όμως είναι αλγοριθμικά πολύπλοκα [1].

Το μοντέλο προσομοίωσης που θα αναπτύξουμε ανήκει στην κατηγορία του δυναμικού (το σύστημα μεταβάλλεται με το χρόνο), στοχαστικού (τα γεγονότα συμβαίνουν τυχαία) και time driven (ενδιαφερόμαστε για τα γεγονότα που συμβαίνουν σε ένα διάστημα χρόνου).

## 5.2 Το πρόγραμμα MATLAB

Το MATLAB είναι ένα μοντέρνο λογισμικό πακέτο αριθμητικής υπολογιστικής και θεωρείται γλώσσα προγραμματισμού τέταρτης γενιάς. Το όνομά του προέρχεται από τα αρχικά γράμματα των λέξεων MATrix LABoratory (*εργαστήριο πινάκων*).

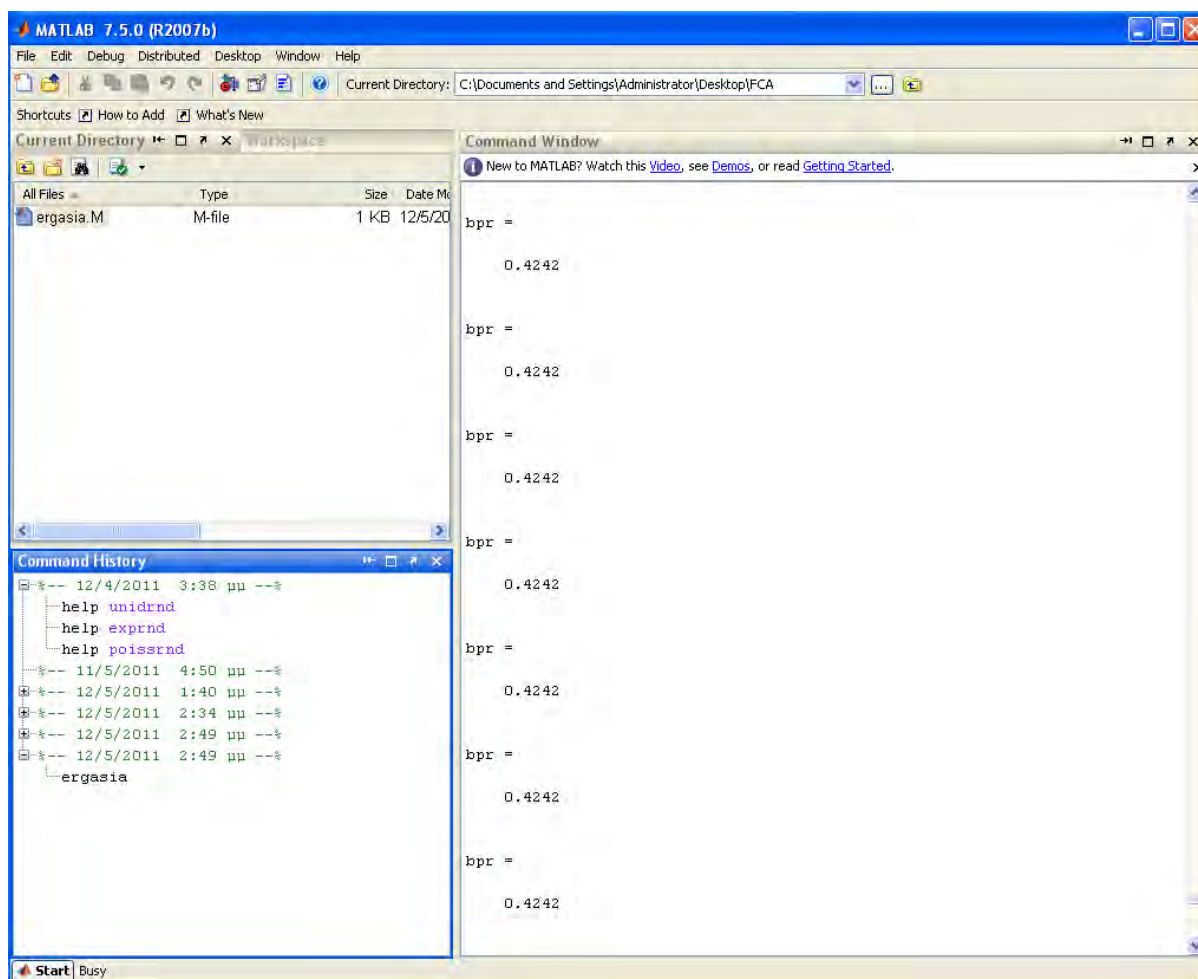
Χρησιμοποιείται κυρίως για να λυθούν μαθηματικά προβλήματα. Το MATLAB είναι ένα διαδραστικό (interactive) πρόγραμμα για αριθμητικούς υπολογισμούς και οπτικοποίηση δεδομένων (data visualization) με δυνατότητες προγραμματισμού. Είναι ένα ιδιαίτερα ισχυρό και χρήσιμο εργαλείο στις μαθηματικές και φυσικές επιστήμες.

Το λογισμικό αυτό πακέτο έχει ειδική σχεδίαση για υπολογισμούς με πίνακες, όπως η επίλυση γραμμικών συστημάτων, η αντιστροφή τετραγωνικών πινάκων κτλ. Επιπλέον, περιέχει πολλές επιλογές για την κατασκευή γραφικών παραστάσεων, καθώς και προγράμματα γραμμένα στη δική του γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμεύουν στην επίλυση άλλων προβλημάτων. Το MATLAB δεν βρίσκει την ακριβή αλλά μια προσεγγιστική λύση ενός προβλήματος, χρησιμοποιώντας αριθμητική πεπερασμένης ακρίβειας.

Η γλώσσα προγραμματισμού του MATLAB παρέχει στον χρήστη τη δυνατότητα να το επεκτείνει με δικά του προγράμματα. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για προγραμματισμό καθώς περιέχει εντολές από την C++ όπως την while, την switch και την if.

Το πακέτο, επίσης, περιέχει μενού βοήθειας, όπου κάθε εντολή επεξηγείται αναλυτικά και με αντιπροσωπευτικά παραδείγματα. Η πιο σημαντική εντολή της MATLAB είναι η help (βοήθεια). Επίσης, υπάρχει μια πληθώρα άλλων εντολών, όπως είναι οι εντολές διαχείρισης

του χώρου εργασίας, καθώς και άλλες χρήσιμες εντολές. Κατά την έναρξη του προγράμματος εμφανίζεται στην οθόνη του υπολογιστή το παράθυρο έναρξης της MATLAB.



Σχήμα 5.1: Παράθυρο έναρξης της MATLAB

Όπως δείχνει και το Σχήμα 5.1 εμφανίζονται συνολικά τέσσερα παράθυρα. Στα δεξιά υπάρχει το μεγάλο παράθυρο εντολών (Command Window) όπου εκεί γράφονται όλες οι προς εκτέλεση εντολές και επιπλέον είναι ο χώρος όπου εμφανίζονται τα αριθμητικά αποτελέσματα. Πάνω αριστερά βρίσκεται ένα πιο μικρό παράθυρο που δείχνει τον τρέχοντα φάκελο (Current Directory) και τα αρχεία που εμφανίζονται σ' αυτόν και μπορούν ανά πάσα στιγμή να εκτελεστούν από το πρόγραμμα. Επίσης, στην ίδια θέση υπάρχει ένα παράθυρο που εναλλάσσεται με το παράθυρο του τρέχοντος φακέλου και είναι το παράθυρο του χώρου εργασίας (workspace). Τέλος, κάτω αριστερά εμφανίζεται ο χώρος όπου υπάρχει το ιστορικό των εντολών (Command History) που πραγματοποιούνται.

Κατά τη διάρκεια μιας εργασίας στη MATLAB μπορεί να εμφανιστούν αυτόματα και άλλα παράθυρα όταν αυτό απαιτείται όπως παράθυρα κειμένου (document windows), παράθυρα γραφικών (graphics windows) και παράθυρα σύνταξης αρχείων (editing windows) [2], [3].

### 5.3 Γενική δομή του προγράμματος προσομοίωσης

Για την μελέτη της στατικής κατανομής καναλιού αναπτύχθηκε κώδικας στο πρόγραμμα MATLAB. Γενικά το πρόγραμμα προσομοίωσης έχει ως εξής:

Αρχικά καθορίζουμε τη ροή κίνησης σε Erlangs μεταβάλλοντας τις γενικές μεταβλητές, όπως θα δούμε παρακάτω.

Στη συνέχεια, αρχικοποιούμε τους πίνακες και τις απαιτούμενες μεταβλητές που δείχνουν τον αριθμό των κλήσεων που παράγονται και αποκλείονται.

Για το χρονικό διάστημα της προσομοίωσης που έχει καθοριστεί:

- Ελέγχουμε την κατάσταση του κινητού συστήματος. Απελευθερώνουμε τα κανάλια των κυψελών για τις κλήσεις που έχουν διεκπεραιωθεί και μειώνουμε κατά μια χρονική μονάδα το χρόνο των κλήσεων που εξυπηρετούνται ήδη από το σύστημα.
- Παράγουμε με βάση τη διαδικασία Poisson νέες κλήσεις που γίνονται στο διάστημα αυτό. Για κάθε μια από αυτές καθορίζουμε τυχαία την κυψέλη στην οποία αναφέρεται και βρίσκουμε αν μπλοκάρεται ή όχι. Αν δεν μπλοκάρεται η κλήση τότε το σύστημα καθορίζει το κανάλι που θα την διαχειριστεί, βρίσκεται τυχαία η χρονική διάρκειά της και ενημερώνεται το σύστημα.
- Τυπώνουμε τα αποτελέσματα και αυξάνουμε το χρόνο προσομοίωσης [4].

### 5.4 Περιγραφή του αλγορίθμου προσομοίωσης

Ο αλγόριθμος προσομοίωσης, σε MATLAB, έχει κατασκευαστεί για να καλύπτει ένα κυψελοειδές κινητό σύστημα το οποίο πληροί τις παρακάτω προϋποθέσεις:

- Ο αριθμός των κυψελών του συστήματος να είναι τετράγωνο ενός ακέραιου αριθμού, για χάρη συμμετρίας και εφαρμογής των συντεταγμένων της κυψελοειδούς αρχιτεκτονικής.

- Το σύστημα χαρακτηρίζεται από ομοιόμορφη κατανομή κίνησης μεταξύ των κυψελών. Η μη ανομοιόμορφη κατανομή που προσεγγίζει περισσότερο την πραγματικότητα απαιτεί τη θεώρηση κάποιων επιπλέον παραμέτρων, οι οποίες κάνουν το σύστημα πιο πολύπλοκο στην προσομοίωση.
- Ακολουθείται το μοντέλο Erlang B όπου οι κλήσεις μπλοκάρονται όταν δεν βρίσκουν διαθέσιμο κανάλι στο σύστημα.

Ως γενικές μεταβλητές δίνονται ο αριθμός των καναλιών και κυψελών, ο μέσος αριθμός των κλήσεων ανά χρονικό διάστημα και η μέση διάρκεια του χρόνου κλήσης. Μεταβάλλοντας ο χρήστης τις τιμές των μεταβλητών που αντιπροσωπεύουν τα κανάλια, τις κυψέλες, το μέσο αριθμό των κλήσεων και τη μέση χρονική διάρκειά τους, παίρνουμε για κάθε περίπτωση τις τιμές των Erlangs ανά κυψέλη ή ανά κανάλι. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται αρχικοποίηση των μεταβλητών που περιγράφουν τον αριθμό των εισερχόμενων κλήσεων, τον αριθμό των μπλοκαρισμένων κλήσεων, καθώς και των πινάκων κατανομής κλήσεων και διάρκειας κλήσεων. Σε αυτό το σημείο έχει ολοκληρωθεί η εισαγωγική διαδικασία του προγράμματος σε ότι αφορά τις μεταβλητές και ακολουθεί το κύριο μέρος της προσομοίωσης, όπως περιγράφεται παρακάτω.

Για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα εκτελούμε τις παρακάτω ενέργειες:

1<sup>ο</sup> Βήμα:

Το πρώτο βήμα του κύριου μέρους της προσομοίωσης περιλαμβάνει την τροποποίηση των πινάκων κατανομής. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής:

Υπάρχουν δύο πίνακες, ο πίνακας κατανομής κλήσεων και ο πίνακας διάρκειας κλήσεων, οι οποίοι έχουν τις ίδιες διαστάσεις. Για το κάθε κανάλι της κάθε κυψέλης, στον πίνακα κατανομής κλήσεων εξετάζεται αν είναι κατειλημμένο, δηλαδή αν είναι ίσο με ένα. Στην περίπτωση που κάτι τέτοιο ισχύει, τότε στο αντίστοιχο κελί του πίνακα διάρκειας κλήσεων η χρονική διάρκεια της εκάστοτε κλήσης μειώνεται κατά μια χρονική μονάδα. Στην περίπτωση που η κλήση η οποία αναφέρεται σε ένα κανάλι ολοκληρωθεί, τότε το κελί στον πίνακα χρονικής διάρκειας κλήσεων γίνεται ίσο με το μηδέν και το αντίστοιχο κανάλι στον πίνακα κατανομής κλήσεων απελευθερώνεται.

Το συγκεκριμένο κομμάτι του κώδικα για την παραπάνω διαδικασία είναι το εξής:

```
for i = 1:CE  
    for j = 1:CH
```



```
if alloccall(i,j) == 1
    allocdur(i,j) = allocdur(i,j)-1;
    if allocdur(i,j) == 0
        alloccall(i,j) = 0;
    end
end
end
end
end
```

## 2° Βήμα:

Το δεύτερο βήμα του κύριου μέρους της προσομοίωσης περιλαμβάνει την παραγωγή του αριθμού των κλήσεων, που πραγματοποιούνται στο σύστημα, σύμφωνα με την κατανομή Poisson στο χρονικό διάστημα που εξετάζουμε. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής:

Αρχικά, χρησιμοποιώντας την συνάρτηση Poisson παράγεται μια ψευδοτυχαία κατανεμημένη μεταβλητή. Η κατανομή Poisson είναι μια διακριτή συνάρτηση κατανομής τυχαίας μεταβλητής που περιγράφει τον αριθμό εμφανίσεων ενός γεγονότος σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Έχει πάρει το όνομά της από τον Γάλλο μαθηματικό, γεωμέτρη και φυσικό Συμεών Πουασόν (Siméon Denis Poisson, 1781–1840).

Η κατανομή Poisson έχει την παράμετρο  $\lambda$  που δηλώνει τη μέση τιμή του αριθμού εμφανίσεων ενός γεγονότος, οι οποίες είναι ανεξάρτητες της τελευταίας χρονικής στιγμής εμφάνισης του γεγονότος. Η συνάρτηση που περιγράφει την κατανομή Poisson είναι η εξής:

$$P_{\lambda}(X = k) = \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda} \quad (5.1)$$

Στη MATLAB η εντολή για την κατανομή Poisson είναι η «poissrnd( $\lambda$ )» και δημιουργεί τυχαίους αριθμούς με μέση τιμή την παράμετρο  $\lambda$ .

Στη συνέχεια εξετάζουμε την πορεία που θα έχει κάθε κλήση ξεχωριστά. Αρχικά αυξάνουμε τον αριθμό των κλήσεων κατά ένα.

Το συγκεκριμένο κομμάτι του κώδικα που υλοποιεί την παραπάνω διαδικασία είναι το εξής:

```
callnumber = poissrnd(MEAN_CALL);
eventcount = 0;
while (eventcount <= callnumber)
    eventcount = eventcount+1;
No_call = No_call+1;
```

## 3° Βήμα:

Το τρίτο βήμα του κύριου μέρους της προσομοίωσης περιλαμβάνει την εύρεση της διαθέσιμης κάθε φορά κυψέλης για την συγκεκριμένη κλήση και την εφαρμογή της μεθόδου FCA. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής:

Επιλέγεται χρησιμοποιώντας την ομοιόμορφη κατανομή η κυψέλη στην οποία βρίσκεται το κινητό για το οποίο έχει γίνει η κλήση. Η ομοιόμορφη κατανομή επιστρέφει μια σειρά τυχαίων αριθμών που επιλέγονται ομοιόμορφα από το σύνολο  $\{1, 2, 3, \dots, N\}$ . Στη MATLAB η εντολή για την ομοιόμορφη κατανομή είναι η «`unidrnd(N)`». Η παράμετρος  $N$  πρέπει να είναι θετικός ακέραιος.

Στη συνέχεια εξετάζεται αν η συγκεκριμένη κυψέλη έχει διαθέσιμα κανάλια. Στην περίπτωση αυτή γίνεται ανάθεση καναλιού. Ο αριθμός των δεσμευμένων καναλιών αυξάνεται κατά ένα και ορίζεται η χρονική διάρκεια της κλήσης η οποία ακολουθεί εκθετική κατανομή. Η εκθετική κατανομή επιστρέφει μια σειρά τυχαίων αριθμών που επιλέγονται εκθετικά με μέση τιμή την παράμετρο  $MU$ . Στη MATLAB η εντολή για την εκθετική κατανομή είναι η «`exprnd(MU)`».

Στην περίπτωση που δεν υπάρχουν ελεύθερα κανάλια αυξάνουμε τη γενική μεταβλητή των μπλοκαρισμένων κλήσεων.

Το συγκεκριμένο κομμάτι του κώδικα που υλοποιεί την παραπάνω διαδικασία είναι το εξής:

```
k = unidrnd(CE);
free = find(alloccall(k,:)==0);
if isempty(free)~=1
    r = unidrnd(size(free,2));
    alloccall(k,free(r)) = 1;
    allocdur(k,free(r)) = ceil(exprnd(MEAN_DUR));
    clear free;
    clear r;
else
    No_block=No_block+1;
```

#### 4<sup>ο</sup> Βήμα:

Το τέταρτο και τελευταίο βήμα του κύριου μέρους της προσομοίωσης περιλαμβάνει τον υπολογισμό της πιθανότητας εμπλοκής των κλήσεων και την εκτύπωσή της. Ως πιθανότητα εμπλοκής θεωρείται το πηλίκο του αριθμού των κλήσεων που μπλοκάρονται προς τον συνολικό αριθμό των κλήσεων που πραγματοποιούνται. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής:

Το πηλίκο της διαίρεσης του αριθμού των κλήσεων που μπλοκάρονται προς τον συνολικό αριθμό των κλήσεων που πραγματοποιούνται εκχωρείται σε μια μεταβλητή η οποία είναι και η ζητούμενη. Στο τέλος του προγράμματος η υπολογισμένη πλέον πιθανότητα εμπλοκής εκτυπώνεται ως το τελικό αποτέλεσμα της προσομοίωσης.

Το συγκεκριμένο κομμάτι του κώδικα που υλοποιεί την παραπάνω διαδικασία είναι το εξής:

```
bpr = No_block/No_call
No_call;
No_block;
printf('The blocking probability is %f\\n',bpr);
end
end
end
```

Συνοπτικά, δίνεται ο ολοκληρωμένος κώδικας που γράφτηκε σε γλώσσα MATLAB και υλοποιεί το πρόγραμμα προσομοίωσης:

```
function ergasia
clear;

MEAN_CALL =36;
MEAN_DUR = 10;
CE = 36;
CH = 7;

No_call = 0;
No_block = 0;
alloccall = zeros(CE,CH);
allocdur = zeros(CE,CH);

while (1==1)
    for i = 1:CE
        for j = 1:CH
            if alloccall(i,j) == 1
                allocdur(i,j) = allocdur(i,j)-1;
                if allocdur(i,j) == 0
                    alloccall(i,j) = 0;
                end
            end
        end
    end
    callnumber = poissrnd(MEAN_CALL);
    eventcount = 0;
    while (eventcount <= callnumber)
        eventcount = eventcount+1;
        No_call = No_call+1;

        k = unidrnd(CE);
        free = find(alloccall(k,:)==0);
        if isempty(free)~=1
            r = unidrnd(size(free,2));
```

```

        alloccall(k,free(r)) = 1;
        allocdur(k,free(r)) = ceil(exprnd(MEAN_DUR));
        clear free;
        clear r;
    else
        No_block=No_block+1;

bpr = No_block/No_call
    No_call;
    No_block;
    printf('The blocking probability is %f\\n',bpr);
    end
end
end
end

```

## 5.5 Αποτελέσματα προσομοίωσης

Ο αλγόριθμος προσομοίωσης, ο οποίος παρουσιάστηκε πιο πάνω, εφόσον εκτελεστεί κατά βήμα, εξάγει ως αποτέλεσμα την πιθανότητα εμπλοκής των κλήσεων που πραγματοποιούνται. Στην συγκεκριμένη προσομοίωση ο αλγόριθμος εκτελέστηκε με διαφορετικά κάθε φορά δεδομένα. Παρακάτω αναφέρονται αναλυτικά τα αποτελέσματα που διεξάγονται από την επαναληπτική εκτέλεση του αλγορίθμου προσομοίωσης. Τα αποτελέσματα προέκυψαν από πολλές επαναλήψεις του προγράμματος, ούτως ώστε οι πιθανότητες εμπλοκής να αποκτήσουν σταθερή τιμή για διαφορετικές ποσότητες κίνησης.

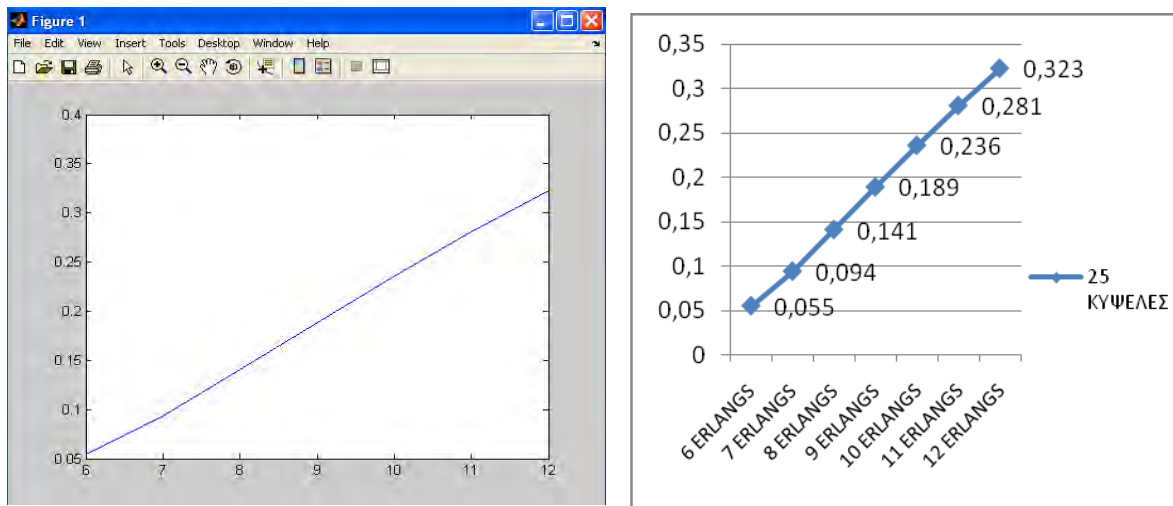
Ο αλγόριθμος εκτελέστηκε για 4 διαφορετικά πλήθη κυψελών (25 κυψέλες, 36 κυψέλες, 49 κυψέλες και 64 κυψέλες). Για κάθε ξεχωριστό πλήθος κυψελών αυτό που μεταβαλλόταν ήταν μόνο ο αριθμός των Erlangs (από 6 Erlangs έως 12 Erlangs).

Για το πλήθος των 25 κυψελών προέκυψαν τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

	6 ERLANGS	7 ERLANGS	8 ERLANGS	9 ERLANGS	10 ERLANGS	11 ERLANGS	12 ERLANGS
25 ΚΥΨΕΛΕΣ	0.055	0.094	0.141	0.189	0.236	0.281	0.323

Πίνακας 5.1: Πιθανότητες εμπλοκής κλήσεων για 25 κυψέλες

Από τον πίνακα των πιθανοτήτων εμπλοκής κλήσεων για 25 κυψέλες προκύπτουν τα πιο κάτω γραφήματα. Η 1<sup>η</sup> γραφική παράσταση προέρχεται από το πρόγραμμα MATLAB, ενώ η 2<sup>η</sup> γραφική παράσταση εμφανίζει με ακρίβεια τα τελικά νούμερα.



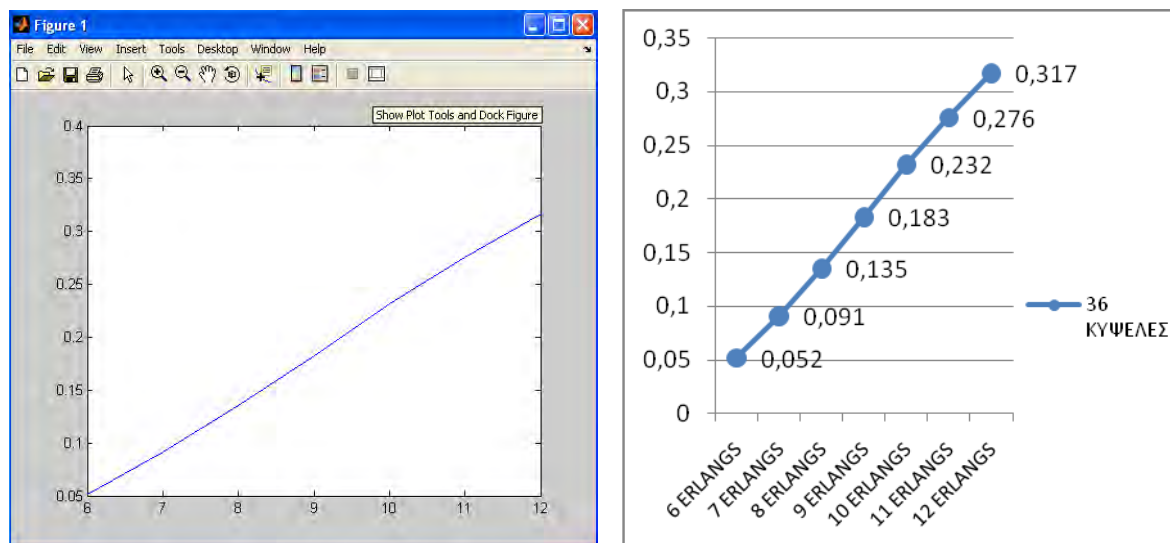
Σχήμα 5.2: Γραφική παράσταση πιθανότητας εμπλοκής κλήσεων για 25 κυψέλες

Για το πλήθος των 36 κυψελών προέκυψαν τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

	6 ERLANGS	7 ERLANGS	8 ERLANGS	9 ERLANGS	10 ERLANGS	11 ERLANGS	12 ERLANGS
36 ΚΥΨΕΛΕΣ	0.052	0.091	0.135	0.183	0.232	0.276	0.317

Πίνακας 5.2: Πιθανότητες εμπλοκής κλήσεων για 36 κυψέλες

Από τον πίνακα των πιθανοτήτων εμπλοκής κλήσεων για 36 κυψέλες προκύπτουν τα πιο κάτω γραφήματα. Η 1<sup>η</sup> γραφική παράσταση προέρχεται από το πρόγραμμα MATLAB, ενώ η 2<sup>η</sup> γραφική παράσταση εμφανίζει με ακρίβεια τα τελικά νούμερα.



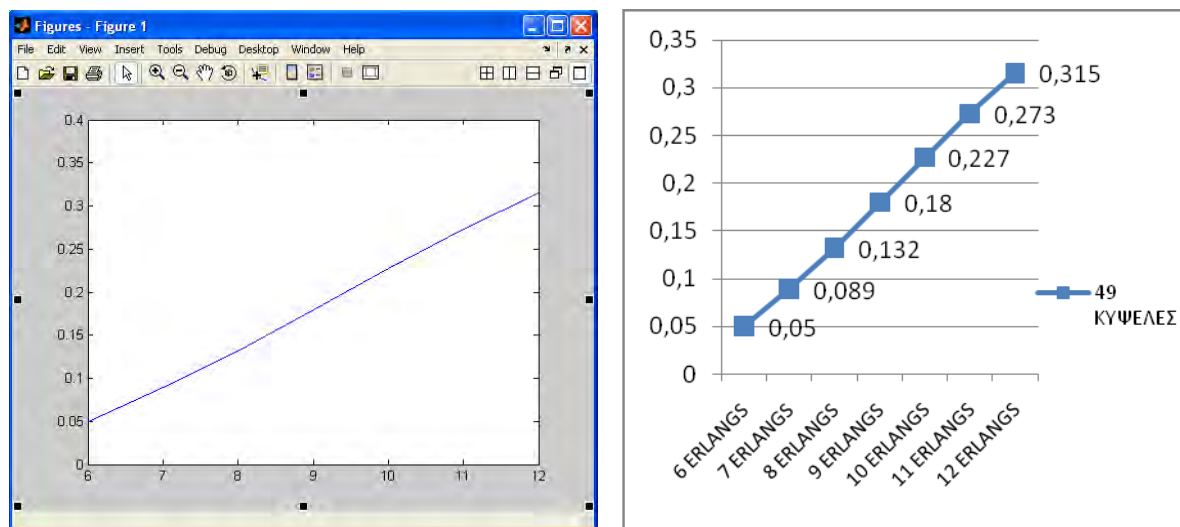
Σχήμα 5.3: Γραφική παράσταση πιθανότητας εμπλοκής κλήσεων για 36 κυψέλες

Για το πλήθος των 49 κυψελών προέκυψαν τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

	6 ERLANGS	7 ERLANGS	8 ERLANGS	9 ERLANGS	10 ERLANGS	11 ERLANGS	12 ERLANGS
49 ΚΥΨΕΛΕΣ	0.050	0.089	0.132	0.180	0.227	0.273	0.315

Πίνακας 5.3: Πιθανότητες εμπλοκής κλήσεων για 49 κυψέλες

Από τον πίνακα των πιθανοτήτων εμπλοκής κλήσεων για 49 κυψέλες προκύπτουν τα πιο κάτω γραφήματα. Η 1<sup>η</sup> γραφική παράσταση προέρχεται από το πρόγραμμα MATLAB, ενώ η 2<sup>η</sup> γραφική παράσταση εμφανίζει με ακρίβεια τα τελικά νούμερα.



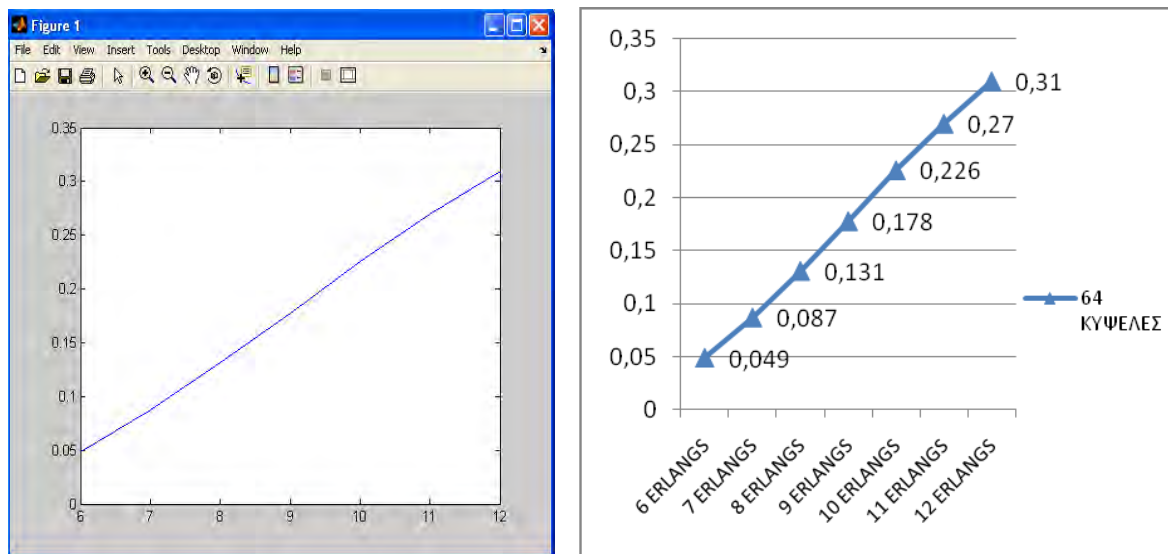
Σχήμα 5.4: Γραφική παράσταση πιθανότητας εμπλοκής κλήσεων για 49 κυψέλες

Για το πλήθος των 64 κυψελών προέκυψαν τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

	6 ERLANGS	7 ERLANGS	8 ERLANGS	9 ERLANGS	10 ERLANGS	11 ERLANGS	12 ERLANGS
64 ΚΥΨΕΛΕΣ	0.049	0.087	0.131	0.178	0.226	0.270	0.310

Πίνακας 5.4: Πιθανότητες εμπλοκής κλήσεων για 64 κυψέλες

Από τον πίνακα των πιθανοτήτων εμπλοκής κλήσεων για 64 κυψέλες προκύπτουν τα πιο κάτω γραφήματα. Η 1<sup>η</sup> γραφική παράσταση προέρχεται από το πρόγραμμα MATLAB, ενώ η 2<sup>η</sup> γραφική παράσταση εμφανίζει με ακρίβεια τα τελικά νούμερα.



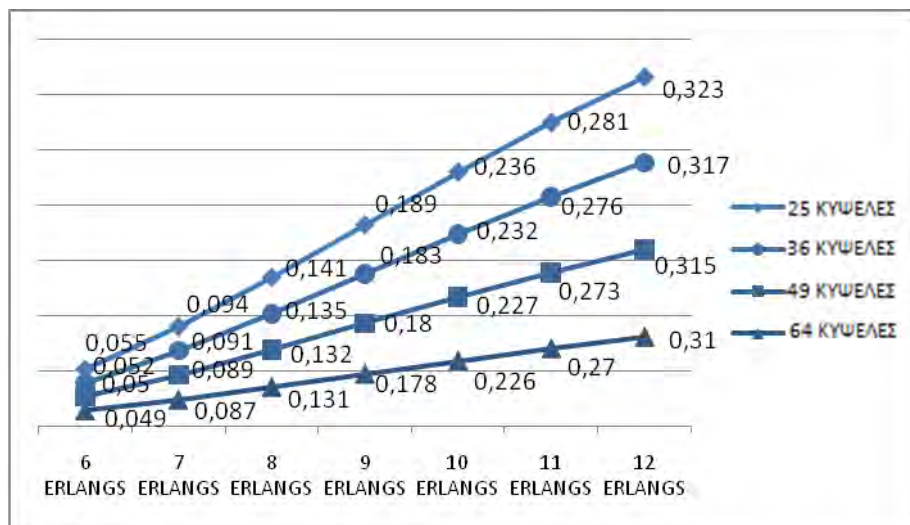
Σχήμα 5.5: Γραφική παράσταση πιθανότητας εμπλοκής κλήσεων για 64 κυψέλες

Σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα που εξήχθησαν από την εκτέλεση του αλγορίθμου προσομοίωσης, ώστε να υπολογιστεί η πιθανότητα εμπλοκής των κλήσεων, προκύπτουν ο παρακάτω συγκεντρωτικός πίνακας και η πιο κάτω συγκεντρωτική γραφική παράσταση.

	6 ERLANGS	7 ERLANGS	8 ERLANGS	9 ERLANGS	10 ERLANGS	11 ERLANGS	12 ERLANGS
25 ΚΥΨΕΛΕΣ	0.055	0.094	0.141	0.189	0.236	0.281	0.323
36 ΚΥΨΕΛΕΣ	0.052	0.091	0.135	0.183	0.232	0.276	0.317
49 ΚΥΨΕΛΕΣ	0.050	0.089	0.132	0.180	0.227	0.273	0.315
64 ΚΥΨΕΛΕΣ	0.049	0.087	0.131	0.178	0.226	0.270	0.310

Πίνακας 5.5: Συγκεντρωτικός πίνακας πιθανοτήτων εμπλοκής κλήσεων





Σχήμα 5.6: Συγκεντρωτική γραφική παράσταση πιθανότητας εμπλοκής κλήσεων

Συνοψίζοντας, λοιπόν, σύμφωνα με τα πιο πάνω αποτελέσματα που προέκυψαν καταλήγουμε στα εξής δυο πολύ σημαντικά συμπεράσματα:

**«Η πιθανότητα εμπλοκής μειώνεται καθώς αυξάνεται το πλήθος των κυψελών, για τον ίδιο πάντα αριθμό Erlangs.»**

Θεωρώντας ότι ο αριθμός των Erlangs παραμένει σταθερός στο σύστημά μας, παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται το πλήθος των κυψελών τόσο μειώνεται η πιθανότητα εμπλοκής των κλήσεων. Με άλλα λόγια η πιθανότητα εμπλοκής κλήσεων είναι αντιστρόφως ανάλογη με το πλήθος των κυψελών. Άρα, όσο περισσότερες κυψέλες υπάρχουν στο σύστημα τόσο πιο δύσκολα θα μπλοκάρονται οι κλήσεις που πραγματοποιούνται. Συνεπώς, είναι επιθυμητό το σύστημά μας να διαθέτει όσο το δυνατόν πιο πολλές κυψέλες γίνεται.

**«Η πιθανότητα εμπλοκής αυξάνεται καθώς αυξάνεται ο αριθμός των Erlangs, για το ίδιο πάντα πλήθος κυψελών.»**

Θεωρώντας ότι το πλήθος των κυψελών παραμένει σταθερό, παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται ο αριθμός των Erlangs τόσο αυξάνεται και η πιθανότητα εμπλοκής των κλήσεων. Με άλλα λόγια η πιθανότητα εμπλοκής κλήσεων είναι ανάλογη με τον αριθμό των Erlangs. Άρα, όσο μεγαλύτερη κίνηση έχουμε στο σύστημα τόσο πιο εύκολα θα μπλοκάρονται οι κλήσεις που πραγματοποιούνται. Συνεπώς, είναι επιθυμητό το σύστημά μας να έχει όσο το δυνατόν πιο μικρή ποσότητα κίνησης.

## **Αναφορές στη Βιβλιογραφία**

- [1] A. M. Law, Simulation Modeling and Analysis, Mc Graw Hill, 4<sup>th</sup> Edition, 2006.
- [2] Γ. Γεωργίου και Χ. Ξενοφώντος, Εισαγωγή στη MATLAB, Λευκωσία 2007.
- [3] Matlab, Wikipedia site. Internet. [Online]. Available:  
<http://el.wikipedia.org/wiki/MATLAB>
- [4] Ε. Ε. Καστανάκης, «Προσομοίωση του δικτύου Hopfield σε συγκεκριμένα μοντέλα κυψελοειδών συστημάτων και εξαγωγή συμπερασμάτων», 2008.

# 6

## Επίλογος

### 6.1 Σύνοψη και συμπεράσματα

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας μελετήθηκε το πρόβλημα της κατανομής καναλιών στα κυψελοειδή συστήματα. Η κατανομή καναλιών καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο τα κανάλια ανατίθενται στις κυψέλες για να εξυπηρετήσουν κλήσεις που αφορούν χρήστες που κινούνται σε μια γεωγραφική περιοχή.

Η διαδικασία της κατανομής καναλιών πιο συγκεκριμένα καθορίζει ποια κανάλια μπορούν να χρησιμοποιηθούν από μια κυψέλη και είναι πολύ σημαντική για τη λειτουργία και την αξιοπιστία των κυψελοειδών συστημάτων όσον αφορά στην εξυπηρέτηση των κλήσεων. Οι στρατηγικές κατανομής καναλιών χωρίζονται γενικά σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τη στατική και τη δυναμική.

Τα σχήματα κατανομής καναλιών μπορούν να εφαρμοστούν με πολλούς διαφορετικούς τρόπους. Έχουν προταθεί διάφορες επεκτάσεις ή τροποποιήσεις των δύο αυτών στρατηγικών κατανομής καναλιών, εξασφαλίζοντας έτσι τη βέλτιστη χρησιμοποίηση του διαθέσιμου φάσματος.

Όσον αφορά το πρακτικό μέρος της εργασίας, αναπτύχθηκε ένας αλγόριθμος προσομοίωσης που περιγράφει το βασικό σχήμα ανάθεσης, τη στατική ανάθεση – FCA. Υλοποιήθηκε πρόγραμμα σε MATLAB και μελετήθηκε η απόδοση συγκεκριμένων κυψελοειδών αρχιτεκτονικών για διάφορες ποσότητες τηλεπικοινωνιακής κίνησης.

Ύστερα από την εκτέλεση του αλγορίθμου προέκυψαν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Παρατηρώντας και αναλύοντας αυτά τα αποτελέσματα προέκυψαν δυο πολύ σημαντικά συμπεράσματα. Το πρώτο συμπέρασμα είναι πως, για συγκεκριμένο κάθε φορά αριθμό

Erlangs, η πιθανότητα εμπλοκής μειώνεται καθώς αυξάνεται το πλήθος των κυψελών. Το δεύτερο συμπέρασμα είναι πως, για το ίδιο πάντα πλήθος κυψελών, η πιθανότητα εμπλοκής αυξάνεται καθώς αυξάνεται ο αριθμός των Erlangs.

## 6.2 Μελλοντικές επεκτάσεις

Η παρούσα πτυχιακή εργασία ασχολήθηκε με την εφαρμογή της στατικής κατανομής καναλιών σε κυψελοειδή συστήματα. Αναπτύχθηκε αλγόριθμος προσομοίωσης ο οποίος περιγράφει αυτήν τη μέθοδο ανάθεσης και σχολιάστηκαν αναλυτικά τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την όλη διαδικασία εκτέλεσης του προγράμματος. Η μελέτη αυτή μπορεί να επεκταθεί ακόμη πιο πέρα.

Μια λογική επέκταση του προβλήματος της κατανομής καναλιών είναι η μελέτη και άλλων μεθόδων κατανομής οι οποίες θα εφαρμοστούν στο ίδιο μοντέλο. Οι πιο δημοφιλείς υποψήφιες προς έρευνα μέθοδοι είναι, κατά κύριο λόγο, η δυναμική και η υβριδική. Η δυναμική κατανομή καναλιών αποτελεί το επόμενο ενδιαφέρον πρόβλημα προς μελέτη. Θα έχει πολύ μεγάλο ενδιαφέρον η δημιουργία ενός αλγορίθμου προσομοίωσης ο οποίος θα βρίσκει την πιθανότητα εμπλοκής των κλήσεων σε ένα τέτοιο σχήμα. Η ερμηνεία των εξαγόμενων αποτελεσμάτων και κατ' επέκταση των συμπερασμάτων μιας τέτοιας διαδικασίας θα οδηγήσει στην εύρεση της πιο συμφέρουσας στρατηγικής ανάθεσης, εφόσον εφαρμόζονται στο ίδιο πάντα μοντέλο.

Μεγάλο, επίσης, ενδιαφέρον θα παρουσιάζει η χρησιμοποίηση νευρωνικών δικτύων στο υπάρχον πρόβλημα, ώστε να υπολογιστεί η πιθανότητα εμπλοκής σε αυτή την περίπτωση. Τα νευρωνικά δίκτυα είναι δίκτυα που αποτελούνται από επεξεργαστικά στοιχεία (νευρώνες, νευρώνια) τα οποία διασυνδέονται μεταξύ τους με συνδέσεις οι οποίες πολλαπλασιάζονται με κάποιον αριθμό (βάρος). Κάθε νευρώνας δέχεται ένα σύνολο αριθμητικών εισόδων από διαφορετικές πηγές, επιτελεί έναν υπολογισμό με βάση αυτές τις εισόδους και παράγει μία έξοδο. Χρησιμοποιώντας τις κατάλληλες εισόδους και τα κατάλληλα βάρη μπορούμε να πάρουμε τις επιθυμητές εξόδους. Ένα νευρωνικό δίκτυο μπορεί να εκπαιδευτεί on-line με τα κατάλληλα αντιπροσωπευτικά δεδομένα, περιορισμούς και συνθήκες που πρέπει να επικρατούν στο σύστημα και να δίνει λύσεις αρκετά αξιόπιστες. Αφού γίνει η εκπαίδευση το

νευρωνικό δίκτυο μπορεί να εφαρμοστεί σε πραγματικά περιβάλλοντα και να δίνει γρήγορες λύσεις ακόμη και σε καταστάσεις που δεν έχει εκπαιδευτεί [1].

Τέλος, μπορεί να εξεταστεί και η χρήση άλλων μεθόδων διαχείρισης πόρων, όπως είναι το handoff και ο έλεγχος ισχύος. Ο όρος handoff (μεταπομπή) αναφέρεται στη διαδικασία μεταφοράς μιας κλήσης όταν γίνεται αλλαγή κυψέλης και πραγματοποιείται από το ένα κανάλι στο άλλο χωρίς η κλήση να τερματιστεί. Ο έλεγχος ισχύος θεωρείται ως μια σημαντική διαδικασία για τη μείωση των παρεμβολών μεταξύ των χρηστών. Ένας καλός αλγόριθμος ελέγχου ισχύος μειώνει δραστικά τις παρεμβολές και αυξάνει τη χωρητικότητα του κυψελοειδούς συστήματος ενώ βελτιώνει τη φασματική απόδοση [1], [2].

## **Αναφορές στη Βιβλιογραφία**

- [1] Χ. Σανδαλίδης, Διαφάνειες Μαθήματος «Ασύρματα Επικοινωνιακά Συστήματα», Τμήμα Πληροφορικής με Εφαρμογές στη Βιοϊατρική, Πανεπιστήμιο Στερεάς Ελλάδας, 2010.
- [2] Β. Αγγελάκης, Διαφάνειες Μαθήματος «Κινητές και Προσωπικές Τηλεπικοινωνίες», Τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής και Πολυμέσων, Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, 2003.

## Ευρετήριο

---

### **A**

*Adjacent channel interference* · 31

---

### **B**

*BCA - Borrowing Channel Assignment* · 49

*BCC - Blocked Calls Cleared* · 39

*BCD - Blocked Calls Delays* · 39

*BCH - Blocked Calls Held* · 39

*Busy Hour* · 37

---

### **C**

*Centralized DCA* · 46

*Channel reassignment* · 46

*Cluster* · 27

*Cochannel interference* · 30

*Co-site interference* · 31

*Crosstalk* · 29

---

**D**

*DCA - Dynamic Channel Assignment · 46*

*Distributed DCA · 46*

---

**E**

*Erlang · 37*

---

**F**

*Fading · 20*

*FBCA - Flexible Borrowing Channel Assignment · 50*

*FCA - Fixed Channel Assignment · 44*

*Fixed and Dynamic Channel Assignment · 50*

*FlCA - Flexible Channel Assignment · 49*

*Frequency constraint · 43*

---

**G**

*GOS - Grade of Service · 36*

---

**H**

*HCA - Hybrid Channel Assignment · 48*

*Hyper cells · 25*

---

**I**

*Interference constraints · 43*

*Intermodulation interference · 31*

---

**L**

*Link Spectral Efficiency · 40*

---

## **M**

*Macro cells* · 25

*Micro cells* · 25

---

## **O**

*Overlay cells* · 24

---

## **P**

*Pico cells* · 25

---

## **S**

*Simulation* · 52

*Spectral Efficiency* · 40

*System Spectral Efficiency* · 40

---

## **T**

*Traffic constraints* · 43

*Traffic flow* · 35

*Trunking* · 36

*Trunking efficiency* · 37

---

## **U**

*Unit calls* · 37

---

## **A**

*Αλγόριθμος προσομοίωσης* · 55

*Ανάθεση βίαιου δανεισμού καναλιών* · 50

*Ανάθεση δανεισμού καναλιών* · 49

*Ανάθεση καναλιών* · 43

*Απόδοση συγκέντρωσης* · 37



## Ευρετήριο

*Απόσταση Επαναχρησιμοποίησης · 27*  
*Απόσταση επαναχρησιμοποίησης καναλιού · 26*  
*Αποτελέσματα προσομοίωσης · 60*

---

### **B**

*Βαθμός εξυπηρέτησης · 36*

---

### **Γ**

*Γεωμετρική μορφή κυψέλης · 23*

---

### **Δ**

*Διανεμημένο DCA · 46*  
*Δυναμική ανάθεση καναλιών · 46*

---

### **E**

*Επανατοποθέτηση καναλιών · 46*  
*Επαναχρησιμοποίηση καναλιού · 18*  
*Επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων · 25*  
*Επιφάνεια εξαγώνου · 28*  
*Ευέλικτη ανάθεση καναλιών · 49*

---

### **K**

*Κυψέλες · 18*  
*Κυψέλες μέγιστης κάλυψης · 24*  
*Κυψελοειδής κάλυψη · 23*

---

### **M**

*Μακροκυψέλες · 25*  
*Μέθοδος Blocked Calls Cleared · 39*  
*Μέθοδος Blocked Calls Delays · 39*  
*Μέθοδος Blocked Calls Held · 39*

*Μικροκυψέλες · 25*

*Μονάδες ροής κίνησης · 37*

*Μοντέλα προσομοίωσης · 52*

---

## **O**

*ολικού επικοινωνιακού φορτίου · 38*

*Ομοκαναλική κυψέλη · 29*

*Ομοκαναλική παρεμβολή · 30*

---

## **Π**

*Παράγοντας μείωσης ομοκαναλικής παρεμβολής · 30*

*Παρεμβολή γειτονικών καναλιών · 31*

*Παρεμβολή γειτονικών κυψελών · 31*

*Παρεμβολή ενδοδιαμόρφωσης · 31*

*Πικοκυψέλες · 25*

*Ποσότητα κυψελοειδούς κίνησης · 34*

*Προσομοίωση · 52*

---

## **P**

*Ροή κίνησης · 35*

---

## **Σ**

*Στατική ανάθεση καναλιών · 44*

*Στατική και δυναμική ανάθεση καναλιών · 50*

*Συγκεντρωμένο DCA · 46*

*Συγκέντρωση · 36*

*Συνακρόαση · 29*

*Συστάδα · 27*

*Συστήματα 2.5G · 22*

*Συστήματα δεύτερης γενιάς 2G · 21*

*Συστήματα τρίτης γενιάς 3G · 22*

*Σχήμα επαναχρησιμοποίησης · 26*

---

## ***T***

*Τύποι κυψελών · 24*

---

## ***Υ***

*Υβριδική ανάθεση καναλιών · 48*

*Υπερκυψέλες · 25*

---

## ***Φ***

*Φασματική αποδοτικότητα · 40*

*Φασματική αποδοτικότητα ζεύξης · 40*

*Φασματική αποδοτικότητα συστημάτων · 40*

---

## ***Ω***

*Ωρα αιχμής · 37*

## Γλωσσάρι

*Adaptive DCA* : Προσαρμοστικό DCA

*Adjacent Channel Constraint - ACC* : Περιορισμός Γειτονικού Καναλιού

*Adjacent Channel Interference* : Παρεμβολή Γειτονικού Καναλιού

*Base Stations - BS* : Σταθμοί βάσης

*Borrowing Channel Assignment – BCA* : Ανάθεση Δανεισμού Καναλιών

*Busy Hours – BH* : Ώρες αιχμής

*Call-by-Call DCA* : Κλήση-σε-Κλήση DCA

*Cell Sites - CS* : Σταθμοί βάσης

*Cells* : Κυψέλες

*Centralized DCA* : Συγκεντρωτικό DCA

*Channel Assignment* : Κατανομή Καναλιών

*Channel Borrowing Schemes* : Μέθοδοι Δανεισμού Καναλιών

*Channel Reassignment* : Επανατοποθέτηση Καναλιών

*Cluster* : Συστάδα

*Co-Channel Constraint* : Ομοκαναλικός Περιορισμός

*Co-Channel Interference – CCI* : Ομοκαναλική Παρεμβολή

*Code Division – CD* : Διαίρεση Κώδικα

*Code Division* : Διαίρεση Κώδικα

*Code Division Multiple Access – CDMA* : Πολλαπλή Πρόσβαση με Διαίρεση Κώδικα

*Command History* : Ιστορικό Εντολών

*Command Window* : Παράθυρο Εντολών

*Crosstalk* : Συνακρόαση

*Current Directory* : Τρέχον Φάκελος

*Distributed DCA* : Διανεμημένο DCA

*Document Windows* : Παράθυρα Κειμένου

*Dynamic Channel Assignment - DCA* : Δυναμική Ανάθεση Καναλιών

*Editing Windows* : Παράθυρα Σύνταξης Αρχείων

*Fading*: Διάλειψη

*Finite-Precision Arithmetic* : Αριθμητική Πεπερασμένης Ακρίβειας

*First Available – FA* : Πρώτη Διαθέσιμη Στρατηγική

*Fixed and Dynamic Channel Assignment* : Στατική και Δυναμική Ανάθεση Καναλιών

*Fixed Channel Assignment – FCA* : Στατική Ανάθεση Καναλιών

*Flexible Channel Assignment - FICA* : Ευέλικτη Ανάθεση Καναλιών

*Forcible Borrowing Channel Assignment – FBCA* : Ανάθεση Βίαιου Δανεισμού Καναλιών

*Frequency Constraint* : Περιορισμός Συχνότητας

*Frequency Division – FD* : Διαίρεση Συχνότητας

*Frequency Division* : Διαίρεση Συχνότητας

*Frequency Division Duplex – FDD* : Αμφίδρομη Διαίρεση Συχνότητας

*Frequency Division Multiple Access – FDMA* : Πολλαπλή Πρόσβαση με Διαίρεση Συχνότητας

*Grade of Service - GOS* : Βαθμός Εξυπηρέτησης

*Graphics Windows* : Παράθυρα Γραφικών

*Hybrid Channel Assignment-HCA* : Υβριδική Ανάθεση Καναλιών

*Hyper Cells* : Υπερκυψέλες

*Interactive* : Διαδραστικό

*Interference Constraints* : Περιορισμοί Παρεμβολής

*Intermodulation* : Ενδοδιαμόρφωση

*Link Spectral Efficiency* : Φασματική Αποδοτικότητα Ζεύξης

*Macro Cells* : Μακροκυψέλες

*Micro Cells* : Μικροκυψέλες

*Mobile Units - MU* : Κινητές Μονάδες

*Mobile Telephone Switching Office - MTSO* : Κέντρο Μεταγωγής Κινητής Τηλεφωνίας

*Overlay Cells* : Κυψέλες Μέγιστης Κάλυψης

*Pico Cells* : Πικοκυψέλες

*Prompt* : Προτροπή

*Public Switched Telephone Network (PSTN)* : Δημόσιο Ενσύρματο Τηλεφωνικό Δίκτυο

*Simulation* : Προσομοίωση

*Spectral Efficiency* : Φασματική Αποδοτικότητα

*System Spectral Efficiency* : Φασματική Αποδοτικότητα Συστημάτων

*Time Division - TD* : Διαίρεση Χρόνου

*Time Division Multiple Access – TDMA* : Πολλαπλή Πρόσβαση με Διαίρεση Χρόνου

*Time slots* : Χρονοθυρίδες

*Traffic Constraints* : Περιορισμοί Κίνησης

*Traffic Flow* : Ροή Τηλεφωνικής Κίνησης

*Trunking* : Συγκέντρωση

*Trunking Efficiency* : Απόδοση Συγκέντρωσης

*Unit Calls -UC* : Μονάδες Ροής Κίνησης

*Workspace* : Χώρος Εργασίας

